

DESENVOLUPAMENT D'UN PLUVIÒGRAF PER A L'OBSERVATORI FABRA

Memòria del projecte

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) - BarcelonaTech

Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB)

Data de la defensa: gener de 2017

Directora: Alícia Casals i Gelpí - ESAll

Titulació: Grau en Enginyeria Informàtica

Especialitat: Tecnologies de la Informació

Autor: David Solà Solé

david.sola.sole@est.fib.upc.edu



Resum

Aquest Treball Final de Grau es basa en el disseny i la construcció des de zero d'un pluviògraf electrònic d'alta precisió per a l'Observatori Fabra. El pluviògraf s'utilitzarà per a l'anàlisi de les precipitacions enregistrant de forma continuada la pluja caiguda, la quantitat total acumulada i la durada de la pluja caiguda. Aquestes dades obtingudes seran enviades a un servidor web on posteriorment passaran a emmagatzemar-se en una base de dades. Aquesta informació podrà ser visualitzada en forma de gràfiques interactives mitjançant la llibreria *HighCharts*.

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado se basa en el diseño y la construcción des de cero de un pluviógrafo electrónico de alta precisión para el Observatorio Fabra. El pluviógrafo se utilizará para el análisis de las precipitaciones registrando de forma continua la cantidad de lluvia caída, la cantidad total acumulada y la duración de la lluvia caída. Estos datos obtenidos serán enviados a un servidor web donde más tarde pasarán a ser almacenados en una base de datos. Esta información podrá ser visualizada en forma de gráficas interactivas utilizando la librería *HighCharts*.

Abstract

This bachelor's thesis focusses on the design and construction from scratch of a high-precision electronic pluviograph for the Fabra Observatory. This recording rain gauges will be used for the analysis of the atmospheric precipitations recording continuously the rain, the accumulated total amount and duration of rainfall. All this data gathered will be send to a web server and then stored into a database. This information shall be visualized as an interactive graphic using *HighCharts* library.

Agraïments

Voldria dedicar aquesta secció a agrair als professors i companys de la Facultat d'Informàtica de Barcelona que m'han servit de model i m'han donat un cop de mà en moments difícils durant tots aquests anys. En especial, a la meva directora Àlicia Casals i a en Josep Amat pels seus coneixements i la seva guia durant aquests mesos.

Als meus pares, sense els quals jo no seria aquí i que sempre m'han donat tot el suport possible.

Per últim, a tots aquells amics que són i seran.

Índex

Resum	2
Resumen	3
Abstract	4
Agraïments.....	5
1. Context.....	10
1.1 Introducció	10
1.2. Actors implicats	12
1.2.1. Dissenyador, desenvolupador, tester	12
1.2.2. Manteniment.....	12
1.2.3. Tutora del projecte	12
1.2.4. Contacte amb l'Observatori Fabra	12
1.2.5. Usuaris finals.....	12
2. Estat de l'art	13
2.1. Pluviògrafs gràfics sobre paper	13
2.1.1. Pluviògraf de cubeta basculant	13
2.1.2. Pluviògraf de bàscula	14
2.1.3. Pluviògraf de flotador	14
2.2. Digitalització automàtica dels pluviogrames	15
3. Abast del projecte	16
3.1. Objectius	16
3.2. Riscos i possibles solucions	16
4. Metodologia i rigor	18
4.1. Cicles curts	18
4.2. Eines de seguiment i validació	18
4.3. Testeig de la nova funcionalitat	19
4.4. Canvis en la metodologia.....	19
5. Planificació inicial general.....	20
5.1. Situació inicial	20

5.2. Descripció de les tasques	20
5.2.1. Planificació del projecte (fita inicial).....	20
5.2.2. Anàlisi de requisits i disseny	21
5.2.3. Configuració de l'entorn de treball.....	21
5.2.4. Desenvolupament principal.....	21
5.2.5. Verificació de les prestacions	22
5.2.6. Fita final	22
5.3. Durada aproximada	22
5.4. Recursos	23
5.4.1. Software	23
5.4.2. Hardware i material	23
5.5 Diagrama de Gantt	25
5.6. Dependències de precedència entre les tasques	26
5.7. Valoració d'alternatives i pla d'acció	26
5.8. Gestió econòmica	27
5.8.1. Consideracions inicials.....	27
5.8.2. Recursos humans.....	27
5.8.3. Hardware	28
5.8.4. Software	28
5.8.5. Despeses indirectes	28
5.8.6. Despeses imprevistes	29
5.8.7. Pressupost total	29
5.8.8. Control de gestió	29
6. Planificació final	30
6.1. Diagrama de Gantt real.....	31
6.2. Recursos humans.....	33
6.3. Hardware i material.....	34
6.4. Software.....	34
6.5. Despeses indirectes	34
6.6. Contingència.....	35
6.7. Pressupost total.....	35
7. Sostenibilitat i compromís social.....	36
7.1. Viabilitat econòmica	36
7.2. Viabilitat social	36

7.3. Sostenibilitat mediambiental	37
7.4. Puntuació de sostenibilitat	37
8. Requisits del sistema	38
8.1. Requisits funcionals	38
8.2. Requisits no funcionals	38
9. Disseny del sistema	39
9.1. Equip de recollida d'aigües pluvials.....	39
9.1.1. Sistema de drenatge "efecte sifó"	40
9.2. Sistema d'adquisició de dades i control	41
9.2.1. Hardware	41
9.2.2. Software	42
9.3. Tecnologies de comunicacions utilitzades	44
9.3.1. Comunicació en sèrie (RS-232)	44
9.3.2. WiFi (IEEE 802.11).....	46
9.4. Components electrònics utilitzats	47
9.4.1. Arduino Mega 2560	47
9.4.2. Mòdul ESP8266 ESP-01.....	49
9.4.3. Bàscula CB Complet M-620CBC	49
9.4.4. Convertidor RS-232 a TTL	50
9.4.5. Servomotor Futaba S3003	51
10. Implementació	53
10.1. Placa microcontroladora: Arduino	53
10.1.1. Setup()	53
10.1.2. Loop().....	53
10.1.3. WifiController	54
10.1.4. ScalesController	55
10.1.5. ServosController	57
10.2. Construcció del prototip	57
10.3. Servidor web	58
10.3.1. Obtenció i emmagatzemat de les dades a la BD.....	58
10.3.2. Transformació de les unitats de les dades.....	59
10.3.3. HighCharts	59
11. Fase de proves	61

12. Conclusions finals	62
13. Competències tècniques desenvolupades	63
13.1. CTI1.1	63
13.2. CTI1.2	63
13.3. CTI1.3	63
13.4. CTI2.1	64
13.5. CTI2.3	64
13.6. CTI4	64
14. Bibliografia	65
15. Índex de taules	66
16. Índex de figures	67
17. Annex.....	68

1. Context

1.1 Introducció

Els instruments meteorològics són una eina de gran importància que ens permeten mesurar paràmetres com la radiació solar, la precipitació atmosfèrica i la temperatura, entre d'altres.

Els aparells més habituals per mesurar les precipitacions són: el pluviòmetre i el pluviògraf. El pluviòmetre, bàsicament, indica la quantitat d'aigua o neu que ha caigut. D'aquesta manera, es fa evident que per a l'estudi de la precipitació d'un lloc no en tenim prou amb la quantitat. No és el mateix que caiguin 25 litres per metre quadrat de forma continuada durant tot el dia que en 10 minuts de forma violenta. D'aquesta necessitat, per tant, neix el pluviògraf, que plasma en una gràfica (anomenada pluviograma) la quantitat de precipitació en un temps determinat, la qual cosa en permet conèixer la quantitat, durada i intensitat instantània.

El pluviògraf més habitual és el mecànic, que consigna les dades en una cinta de paper. Aquest sistema requereix de personal que es desplaci a la ubicació física de l'instrument per canviar el paper, carregar el plomí amb tinta i donar corda al sistema de rellotgeria, cosa que s'acostuma a fer diàriament, setmanalment o mensualment. A més, s'han d'analitzar les dades a partir dels gràfics, que en algunes ocasions poden presentar problemes, com gràfiques borroses (per manca de tinta, embús del plomí, problemes de calibració, etc.), que degeneren la informació dels registres. Les dades d'aquestes tires s'han de transformar en format digital utilitzant una tableta digitalitzadora. Aquest procés requereix d'una inversió en temps i els operaris poden introduir-hi errors involuntaris.

Moltes obres d'enginyeria civil són profundament influenciades per factors climàtics, entre els que destaca per la seva importància les precipitacions pluvials. Un correcte dimensionament del sistema de drenatge augmentaria considerablement la vida útil d'una carretera, una via de tren, un aeroport, etc. El coneixement de les precipitacions pluvials extremes i el conseqüent dimensionat adequat en garanteixen la seguretat i la d'altres estructures situades per sota. Deduir la probabilitat d'un esdeveniment com aquest requereix comptar amb els històrics dels registres continuats de la precipitació, a partir del processament de la informació pluviogràfica.

Un exemple d'un mal càlcul d'aquesta informació el trobem al mercat dels Encants, a Barcelona, on la coberta es va dissenyar per absorbir una precipitació màxima de 160 litres per metre quadrat i hora. El dissabte 8 de juny de 2013 en van caure, en canvi, 180, tot i ser durant un temps reduït segons les dades dels 24 pluviòmetres municipals. Aquestes xifres ens diuen que, tot i ser intenses i comptar amb poca informació històrica, no van ser excepcionals a la ciutat, ja que des de 2009 es van registrar 8 episodis d'aquestes característiques. Com a conseqüència, 7 dels 350 baixants van col·lapsar i les cortines d'aigua van brollar a 25 metres d'alçada.

1.2. Actors implicats

A continuació, es detallaran els actors implicats en aquest projecte, és a dir, aquelles persones o organitzacions que poden estar interessades en el projecte.

1.2.1. Dissenyador, desenvolupador, tester

En aquest cas, les tres tasques que normalment farien diferents persones dins de la seva especialització professional, són portats a terme per l'autor del projecte, el David Solà Solé, tant pel que fa a la formulació i al desenvolupament del software necessari, com a la construcció del pluviògraf, i la seva posterior documentació i defensa.

1.2.2. Manteniment

En principi, el manteniment estarà a càrrec de l'administrador de sistemes o el web màster de l'Observatori Fabra i podrà afegir, millorar o eliminar certes funcionalitats en cas de ser considerades necessàries en un futur. Es documentarà el màxim possible el codi per facilitar aquesta tasca.

1.2.3. Tutora del projecte

La tutora d'aquest projecte és l'Alicia Casals Gelpí. El seu paper és supervisar el projecte i vetllar pel compliment dels objectius dins del calendari planificat. També podrà guiar al desenvolupador per tal de realitzar el projecte.

1.2.4. Contacte amb l'Observatori Fabra

El treball s'està portant a terme segons les especificacions donades per la Reial Acadèmia d'Arts i Ciències, responsable de l'Observatori Fabra a través de l'acadèmic Josep Amat, president de la Secció de Matemàtiques i Astronomia.

1.2.5. Usuaris finals

Aquest projecte està enfocat principalment als científics que vulguin fer estudis d'evolució, tot i que també podrà ser d'utilitat per al públic en general, ja que es podrà visualitzar la informació recollida des del web de l'Observatori Fabra.

2. Estat de l'art

En aquest apartat es veurà l'estat de l'art pel que fa als temes relacionats amb els diversos subproblemes a resoldre dins del projecte.

En el primer apartat es veuen els pluviògrafs més usats actualment per part de les estacions meteorològiques. A continuació, es veu un mètode utilitzat per digitalitzar de forma automàtica la informació proporcionada pels pluviogrames.

2.1. Pluviògrafs gràfics sobre paper

Actualment, moltes estacions meteorològiques usen pluviògrafs mecànics, ja que poden enregistrar de forma precisa informació en episodis de condicions extremes i tenen una llarga esperança de vida, que pot superar els 100 anys. Tot seguit, es veurà el funcionament dels més habituals avui en dia.

2.1.1. Pluviògraf de cubeta basculant

L'aigua de la pluja es recull en un con de recepció i flueix cap a una cubeta. Quan la cubeta s'omple, bascula. L'aigua flueix cap a l'exterior de l'aparell i la cubeta oposada s'omple, d'aquesta manera, fins al basculament següent. Després de cada basculament, un dispositiu mecànic permet tancar un circuit elèctric i d'aquesta manera es té un seguiment de la precipitació.

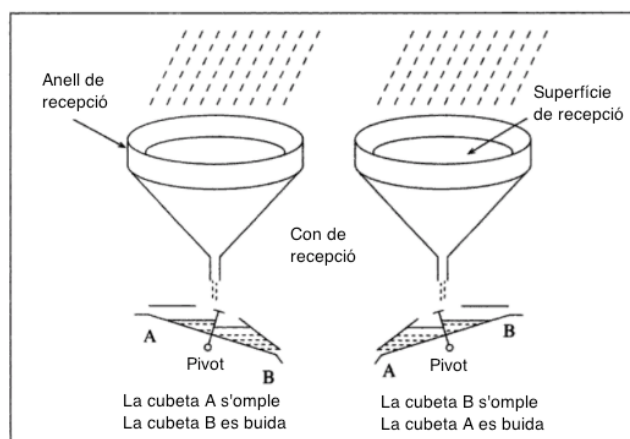


Figura 1. Pluviògraf de cubeta basculant

La selecció de la superfície de recepció del con (de 400 a 2000 cm²) i de la massa d'aigua per la qual bascula la cubeta (de 4 a 20 g), determinarà la resolució del pluviògraf.

2.1.2. Pluviògraf de bàscula

L'aigua recollida amb el con de recepció flueix cap a una cubeta única, que s'omple de manera progressiva i es buida pel desplaçament del seu centre de gravetat quan arriba a una massa d'aigua fixada prèviament (de 150 a 200g per als models comuns). L'aigua és evacuada cap a

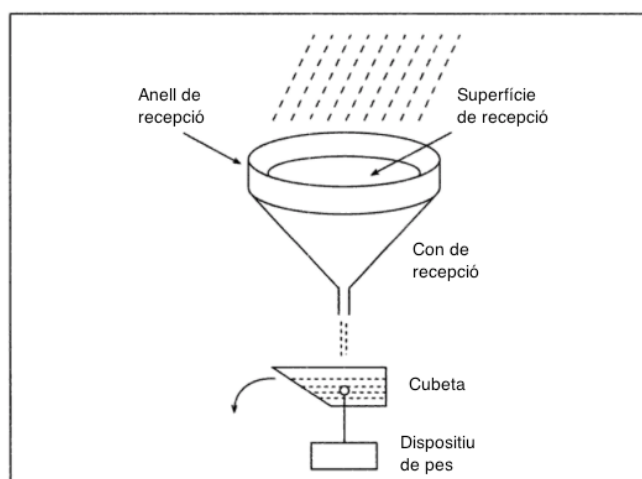


Figura 2. Pluviògraf de bàscula

retorna a la seva posició inicial. Entre els dos basculaments, la massa de la cubeta i de l'aigua que conté es mesura de forma continuada.

El principal inconvenient d'aquests tipus de pluviògrafs és el buidat de la cubeta, que dura aproximadament de 15 a 20 segons i d'aquesta manera queda interromput el mesurament de la pluja. Una possible solució consisteix a reemplaçar-la per un recipient de gran volum que pot contenir entre 250 i 1.000 mm d'aigua. El buidat el realitzarà un operador mentre que no plougui.

2.1.3. Pluviògraf de flotador

L'aigua recollida cau dins d'un recipient on es troba un flotador. A mesura que s'incrementa la quantitat d'aigua, també ho farà el flotador, que va unit a un plomí que enregistra aquesta variació amb la combinació del moviment continuat de la banda de paper. Després d'una determinada quantitat de precipitació rebuda, el plomí arriba a la vora superior del diagrama. El recipient es buida ràpidament utilitzant el sífó. Finalment, el plomí retrocedeix fins al zero i, si la pluja continua, es torna a repetir aquest procés.

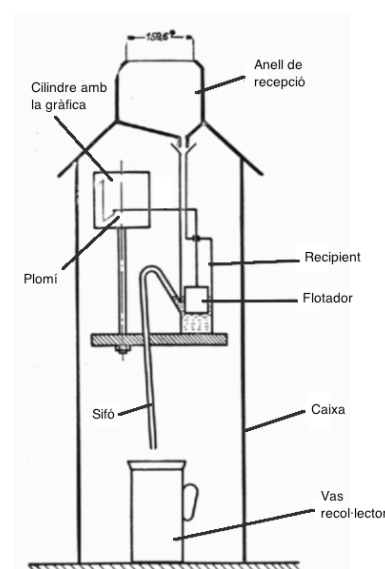


Figura 3. Pluviògraf de flotador

És possible un control suplementari de l'enregistrament, ja que l'aigua que s'escapa pel sifó és recollida pel vas col·lector, per la qual cosa la quantitat total de precipitació es pot mesurar amb una proveta.

2.2. Digitalització automàtica dels pluviogrames

Tot i el bon funcionament dels pluviògrafs gràfics sobre paper, van ser pensats per ser usats en un món no informatitzat; per aquest motiu, s'ha intentat crear algorismes per a una automàtica digitalització dels pluviogrames, ja que la conversió d'aquestes gràfiques de forma manual consumeix temps i els operaris que les manipulen poden introduir-hi errors.

Un algorisme que digitalitza les gràfiques dels pluviògrafs de cubeta basculant va ser proposat a la Universitat de Cagliari (Itàlia). Els passos principals del seu algorisme consisteixen en: pre-processat, segmentació, detecció automàtica d'events i un post-processat interactiu.

Les dades de les imatges del pluviograma amb una resolució de 300 punts per polzada (DPI) serveixen com a entrada per a l'algorisme. Dins del pre-processat, la imatge és rotada i transformada (deformada) de manera que els píxels de les columnes coincideixin amb el mateix interval de temps que l'algorisme. Durant la fase de segmentació, es decideix quins píxels de la imatge pertanyen a la gràfica.

3. Abast del projecte

3.1. Objectius

El projecte consistirà en la construcció d'un pluviògraf electrònic que permetrà oferir una alta precisió d'obtenció de dades directament en format digital de forma ininterrompuda. Aquesta informació serà emmagatzemada en una base de dades allotjada en un servidor remot. Posteriorment, les dades podran ser visualitzades des del web de l'Observatori Fabra.

El pluviògraf comptarà amb dues bàscules electròniques connectades a un microcontrolador encarregat de la gestió de la lectura de les bàscules i posteriorment enviarà les dades al servidor.

El funcionament del pluviògraf serà el següent: cada bàscula tindrà un recipient a sobre on recollirà la pluja caiguda. Un servomotor administrat pel microcontrolador decidirà si el flux d'aigua caurà al recipient o no en funció de la seva capacitat, de manera que quan un dels dos recipients s'ompli, aquest es començarà a buidar de forma automàtica i la lectura de les dades es realitzarà des de l'altra bàscula fins que aquesta s'ompli, repetint el cicle. D'aquesta manera, en tot moment es tindrà un registre de les precipitacions de forma continuada en el temps. El microcontrolador serà l'encarregat de portar aquesta lògica i decidir cada quan enviar-les al servidor on un *script* guardarà de forma automàtica aquesta informació.

3.2. Riscos i possibles solucions

Els principals obstacles poden ser de diversos tipus:

- Restricció temporal: el Treball de Final de Grau té una data límit fixada. Qualsevol problema que pugui sorgir durant la seva realització, ja sigui per un estancament, un error dins del codi, un mal connexionat del sistema o un requisit mal entès, haurà de ser gestionat correctament i, en cas de considerar-se necessari, tornar a planificar el calendari.
- Fase de construcció del pluviògraf: a causa de la poca experiència per part de l'autor interconnectant sistemes i dels pocs coneixements en electrònica, és força probable que apareguin dificultats, de manera que serà necessari un temps d'autoaprenentatge.

- Fase de programació: aquesta fase compren tant la programació del microcontrolador com la part del *Front-end*¹ i *Back-end*² del servidor, de manera que s'utilitzaran una sèrie de llenguatges de programació com poden ser C++, PHP i JavaScript.
- Optimització de la base de dades: com que aquest pluviògraf està pensat per ser de llarga durada, la base de dades pot arribar a tenir un volum d'informació considerable, de manera que caldrà analitzar-ne les dades per saber quan és necessari guardar-les o no³.

¹ És la part del desenvolupament web que fa referència a la visualització del contingut i que interactua amb els usuaris. S'executa en la part del client.

² S'encarrega de portar la lògica, rep les dades provinents de l'usuari i interactua amb les bases de dades per oferir informació. S'executa en la part del servidor.

³ No cal guardar la informació dins de la mateixa freqüència un dia que plogui amb un d'altre que faci sol.

4. Metodologia i rigor

Com que el projecte s'ha de realitzar dins d'un límit de temps de 5 mesos aproximadament, el temps disponible és força reduït i es requereix d'una certa rapidesa. Per mantenir una constància del desenvolupament del treball, la millor aproximació sembla utilitzar una metodologia àgil de treball. Existeixen diverses metodologies d'aquest estil, com poden ser *Scrum*, *Dynamic Systems Development Method* o *Extreme Programming*, encara que van enfocades a la creació de projectes en els quals es treballa en equips reduïts (menys de 10 persones). Tot i això, no és necessari un sistema tan complex, ja que només hi haurà un sol desenvolupador, però se'n poden aprofitar algunes característiques.

4.1. Cicles curts

Es podria donar la situació que no s'està elaborant allò que el client realment necessita per diverses raons. Redissenyar tot un projecte en un estat avançat de creació pot resultar molt costós (en aquest cas, pensant en el temps, principalment). Com a solució, es definiran cicles de treball curts o *sprints* que consistiran en objectius a complir cada 1 o 2 setmanes. D'aquesta manera, es tindrà una millor visió de l'estat actual del projecte per part de la directora i com es troba respecte del calendari que es va plantejar inicialment. En cas d'aconseguir completar els objectius parcials abans d'hora, s'intentarà avançar la planificació per tal de poder-se anticipar a possibles obstacles en el futur.

4.2. Eines de seguiment i validació

Com que no hi haurà una comunicació directa amb el client, es farà una simulació d'aquest perfil amb la directora del projecte amb qui es mantindrà una sèrie de reunions presencials o bé comunicació per altres mitjans (per ex: correu electrònic). D'aquesta manera, hi haurà un *feedback* periòdic i, s'evitaran o detectaran possibles desviacions durant el desenvolupament en el menor temps possible.

També s'utilitzarà l'eina *ganttProject* per consultar si hi ha desviacions respecte de la planificació inicial en el diagrama de Gantt que es realitzarà més endavant. En cas que sigui necessari, s'utilitzarà una plataforma per poder compartir documents a través d'Internet, com *Google Drive*.

4.3. Testeig de la nova funcionalitat

Cada cop que s'acabi d'implementar una nova funcionalitat, aquesta serà posada a prova individualment de manera que si es troba un error, pugui ser solucionat en el menor temps possible. Això facilitarà que sigui menys probable trobar errors crítics a una etapa més avançada del projecte on el cost per solucionar un error d'implementació o pitjor encara, de disseny, pot ser exponencial.

4.4. Canvis en la metodologia

La metodologia de treball utilitzada ha estat en general, tal i com es va establir inicialment: reunions presencials entre 1 i 3 setmanes. S'ha anat mostrant el progrés, comentant dubtes que han sorgit quant al disseny i també s'han aprofitat per a l'adquisició de material necessari.

Les eines utilitzades han estat principalment les mateixes exceptuant que s'ha afegit també el sistema de versions *Git* a través del web *GitHub* per al manteniment del codi font i així assegurar-ne la seva disponibilitat.

5. Planificació inicial general

En aquest apartat es veurà la planificació que es va plantejar inicialment per al projecte. Dins de l'apartat 6, s'explicaran totes les diferències que s'han produït entre la planificació teòrica i la real.

5.1. Situació inicial

El projecte té una durada de 5 mesos aproximadament, des de setembre fins a gener (ambdós inclosos pràcticament). En aquesta secció, es descriuran les tasques dutes a terme per tal d'acabar amb èxit el projecte. Tot i això, s'ha de tenir en compte que la planificació següent del projecte és probable que canviï, atesa la metodologia àgil i iterativa escollida anteriorment.

El projecte va començar el 12 de setembre de 2016 i la data límit de finalització és el 25 de gener de 2017, de manera que la planificació quedarà acotada a aquestes dues dates.

5.2. Descripció de les tasques

S'ha dividit la feina global del projecte en diferents tasques. Per a cada una d'elles, s'especifica la durada aproximada i quin rol caldrà que exerceixi l'autor.

5.2.1. Planificació del projecte (fita inicial)

Aquesta tasca correspon a la que es realitza durant el curs de Gestió de Projectes (GEP). Abans d'elaborar un projecte, s'han de decidir i tenir en compte una sèrie de factors:

- En què consistirà exactament.
- Quin serà el seu abast.
- Si és viable tant econòmicament com temporalment.
- Quina planificació es portarà a terme.
- Quin és l'actual estat de l'art dins de la matèria.
- Quins són els possibles riscos que poden sorgir per minimitzar danys.
- Què s'espera aconseguir.

Aquesta fase normalment la realitza el cap del projecte amb entrevistes a les diferents parts interessades.

5.2.2. Anàlisi de requisits i disseny

L'objectiu d'aquesta part consisteix a analitzar detalladament el projecte. S'hi defineixen els requisits funcionals, que estableixen el comportament del sistema, i els requisits no funcionals, com el rendiment, la disponibilitat, l'estabilitat, la mantenibilitat, etc.

Quant a la part de disseny, es decidiran quines tecnologies seran necessàries, així com els protocols de comunicacions, l'elecció del mètode per guardar les dades, la visualització de les dades, etc., sense aprofundir-hi gaire, de moment.

Aquesta fase s'assignaria a l'analista.

5.2.3. Configuració de l'entorn de treball

Abans de començar el desenvolupament del projecte, s'ha de determinar les eines necessàries per treballar. S'ha de decidir quin és el mínim material necessari que cal comprar per començar. Una part important d'aquest material està finançat per l'Acadèmia d'Arts i Ciències de Barcelona.

5.2.4. Desenvolupament principal

Aquesta és la fase principal del projecte. Cobreix totes les tasques relacionades amb les implementacions i proves dels diferents subsistemes separatament i, finalment, de forma conjunta. Hi ha una gran quantitat de rols involucrats dins d'aquesta part.

Les tasques definides són les següents:

- Dispositiu de recollida: es construirà un petit prototip de recollida d'aigües pluvials utilitzant un conjunt d'elements físics com són: bàscules, tubs, servomotors, sistema de drenatge d'aigua, etc.
- Sistema informàtic d'adquisició de les dades: aquesta és molt possiblement la fase més complexa del projecte, ja que és on es desenvolupen i s'integren els diversos tipus de comunicacions que s'utilitzaran. És en aquesta part on s'afegirà la segona bàscula necessària per obtenir de forma ininterrompuda les dades. D'aquesta manera, s'haurà de saber en tot moment en quina de les dues bàscules s'està llegint, en quina no i controlar els servomotors que s'utilitzaran per guiar el flux d'aigua.

- Lectura i arxiu de dades: llegir les dades que arribaran a partir de les lectures de les bàscules electròniques i guardar-les de forma persistent dins del servidor web és la primera cosa que s'ha d'implementar. Aquesta informació arribarà inicialment pel port sèrie dins de l'estàndard RS-232 (tot i que a la versió final es possible utilitzar algun tipus de tecnologia sense fils com el WiFi per comunicar el microcontrolador amb el servidor) i un *script* guardarà allò que arribi a la base de dades indicant l'hora en què ha esdevingut el fet.
- Visualització i consultes web: un cop que hi hagi dades amb què treballar, es crearà un web que mostri un registre de les precipitacions amb forma de gràfiques dins de l'interval de temps especificat per l'usuari. Es vol que l'usuari pugui interactuar-hi d'una forma molt visual i intuïtiva.

5.2.5. Verificació de les prestacions

En aquesta tasca, es verificarà que tot el sistema, finalment integrat, funciona com s'espera a partir del dispositiu de recollida muntat realitzant una sèrie de proves.

5.2.6. Fita final

Un cop revisat tot el treball, es redacten les conclusions i es mostren les desviacions respecte de la planificació inicial.

5.3. Durada aproximada

S'han calculat el total d'hores de cada tasca tenint en compte que algunes d'elles, com les parts més complicades del projecte, poden patir d'un cert marge d'error major a l'hora d'assignar el temps necessari, mentre que en d'altres, el marge d'error és menor.

Tasques	Durada	%
1. Planificació del projecte (fita inicial)	80h	17,7%
2. Anàlisi de requisits i disseny	60h	13,3%
3. Configuració de l'entorn de treball	15h	3,3%
4. Lectura i arxiu de dades	40h	8,8%
5. Visualització i consultes web	70h	15,5%
6. Integració microcontrolador	140h	31,1%
7. Verificació prestacions	30h	6,6%
8. Fita inicial	15h	3,3%
TOTAL	450h	100%

Taula 1. Durada i percentatge del temps estimat per a cada tasca del projecte

5.4. Recursos

A continuació, es veuran de forma llistada, les diferents eines i material necessaris, tant software com hardware.

5.4.1. Software

- Sistema operatiu: Windows 8.1
- Eines per al desenvolupament:
 - Visual Studio 2015: programació del codi en llenguatge C
 - Sublime Text 3: programació de la part web
 - Arduino Software (IDE): programació i introducció del codi compilat al microcontrolador
- Eines per al disseny i documentació:
 - ganttProject: elaboració de la planificació
 - Microsoft Office 2015: redacció de la documentació del projecte
 - Trello: ajuda a organitzar les tasques en forma de taulers
- Servidor web:
 - Servidor Apache HTTP: servidor HTTP de codi obert enfocat a sistemes operatius moderns que inclouen UNIX i Windows
 - MySQL: sistema de gestió de bases de dades relacional desenvolupat sota la llicència dual GLP/Llicència comercial i destinat principalment al desenvolupament web
- Llibreries utilitzades per al desenvolupament:
 - HighCharts: visualització de dades en forma de gràfiques

5.4.2. Hardware i material

- Material sense components electrònics:
 - Tubs de silicona de diferents diàmetres: necessaris per a la navegació de l'aigua dins del circuit
 - Embuts: reben la pluja i faciliten els càlculs de la precipitació dins de les unitats que s'utilitzen habitualment (mm) ja que es coneix la seva superfície de recepció d'aigües pluvials
 - Recipients amb una capacitat màxima de 1500 ml d'aigua
- Hardware necessari per a la construcció del pluviògraf:

- *Arduino*: plataforma d'electrònica de codi obert destinat a la realització de projectes de forma interactiva
- Servomotors: dispositius similars a un motor de corrent contínua. S'encarregaran de controlar el flux d'aigua que caigui dins de cada recipient
- Bàscules CB Complet M-620CBC: permetran pesar la quantitat de precipitació caiguda.
- Mòdul WIFI: transmissió de les dades des del microcontrolador fins al servidor remot sense utilitzar fils

5.5 Diagrama de Gantt

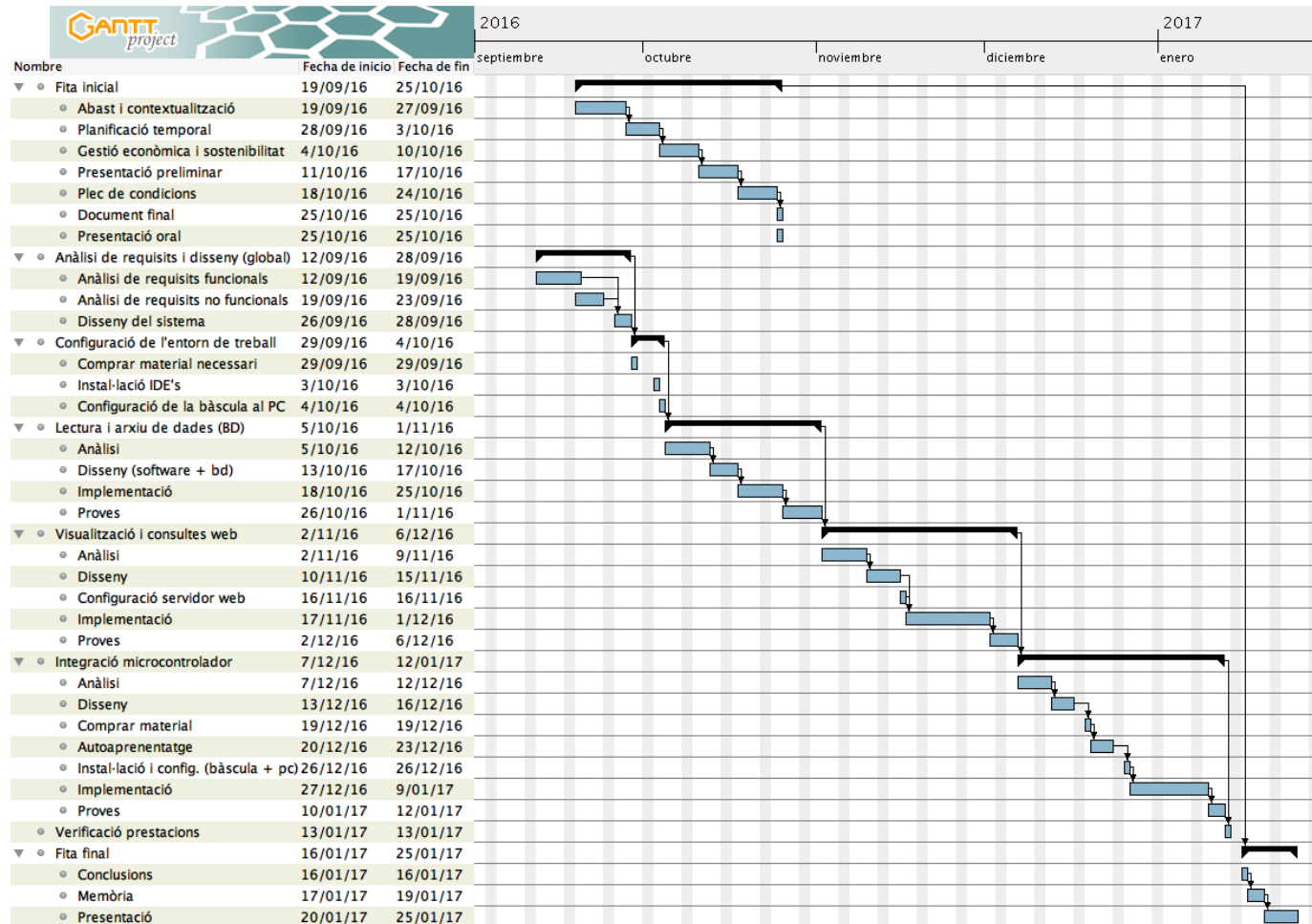


Figura 4. Diagrama de Gantt de la planificació inicial

5.6. Dependències de precedència entre les tasques

A continuació, es veurà quines tasques han de ser finalitzades per poder fer-ne d'altres.

Tasca	Tasca predecessora
Fita inicial	-
Anàlisi de requisits i disseny (global)	-
Configuració de l'entorn de treball	Anàlisi de requisits i disseny (global)
Lectura i arxiu de dades (BD)	Configuració de l'entorn de treball
Visualització i consultes web	Lectura i arxiu de dades (BD)
Integració microcontrolador	Visualització i consultes web
Verificació i prestacions	Integració microcontrolador
Fita final	Verificació i prestacions

Taula 2. Dependències de precedència entre les tasques de la planificació inicial.

5.7. Valoració d'alternatives i pla d'acció

A l'hora de dissenyar la planificació temporal del treball, s'han tingut en compte aspectes com la quantitat de feina a fer, la seva dificultat i la poca experiència dins de l'àrea per determinar una aproximació a les hores necessàries que cal dedicar-hi. Per una part, s'ha decidit donar més temps a la fase on s'integra el microcontrolador i es connecten els diversos components amb els que interactuarà, ja que és, segurament, on sorgiran més problemes per una manca de coneixement i experiència dins de les diverses tecnologies que cal utilitzar.

Tot seguit, es veuran els principals obstacles que poden sorgir durant les diverses fases del projecte dins de les etapes d'implementació.

Risc	Nivell d'amenaça	Pla d'acció
Problemes amb el renderitzat de les gràfiques	Mitjà	Es mirarà si el motiu és per la gran quantitat de punts a representar i, en aquest cas, caldrà redissenyar el que s'ha fet o buscar alternatives.
Incompatibilitats amb les comunicacions entre els sistemes	Mitjà	Atesa la poca experiència, es buscarà informació disponible en fòrums i webs. Si no hi ha més opció, es buscarà una altra tecnologia.
Planificació mal plantejada	Baixa	Es buscarà el motiu pel qual no se segueix el calendari i com es pot corregir.

Taula 3. Valoració dels principals obstacles i pla d'acció corresponent

5.8. Gestió econòmica

Un cop s'ha definit el projecte i s'ha pensat en una solució, cal realitzar un estudi econòmic i un altre de l'impacte social i ambiental amb la finalitat de conèixer si el projecte és viable o no.

5.8.1. Consideracions inicials

En aquesta secció, es farà una estimació sobre el pressupost del projecte tenint en compte els recursos necessaris. Aquests recursos estan formats pel total d'hores dedicades per a cada rol, el cost del hardware i, finalment, el cost del software. Els elements sobre els quals es calcula el pressupost estan directament relacionats amb les tasques vistes anteriorment en el diagrama de Gantt.

5.8.2. Recursos humans

Atès que el projecte està únicament desenvolupat per una persona ja que és un projecte universitari, caldrà que s'ocupi de tots els rols necessaris: cap de projecte, analista, dissenyador, programador, tester i tècnic de muntatge.

A la taula següent, es veurà el preu per hora que cobra cada perfil, el nombre d'hores aproximades que es faran i el cost total suposant que l'autor del projecte cobrés com un professional.

Rol	Preu per hora	Hores aproximades	Cost total
Cap de projecte	50€/h	95h	4.750€
Analista	40€/h	60h	2.400€
Dissenyador	35€/h	40h	1.400€
Programador	25€/h	200h	5.000€
Tester	25€/h	40h	1.000€
Tècnic muntatge pluviògraf	15€/h	2h	30€
TOTAL		437h	14.580€

Taula 4. Cost estimat dels recursos humans

Cal recordar que dins de les hores estimades pel programador estan incloses les d'autoaprenentatge del diferents entorns de treball.

5.8.3. Hardware

Per al desenvolupament del projecte, construcció del pluviògraf i realització de la memòria, seran necessaris els productes físics següents:

Producte	Unitats	Cost	Vida útil	Amortització (5 mesos)
Ordinador de sobretaula	1	500,00€	5 anys	41,67€
Bàscula CB Complet M-620CBC	2	1646,00€	3 anys	-
Servomotor	2	28,00€	4 anys	-
Embut 14cm	2	2,70€	-	-
Tub silicona 15x20mm, 1m	1	6,00€	-	-
Tub silicona 3x5mm, 1m	1	0,60€	-	-
Arduino	1	20,00€	10 anys	-
RS232 Arduino	2	10,00€	5 anys	-
Mòdul WIFI ESP-8266	1	7,50€	5 anys	-
Recipient 2000cl	2	14,50€	-	-
TOTAL				1.776,97€

Taula 5. Cost estimat del pressupost hardware

Només l'ordinador es tindrà en compte com a amortitzable en aquests 5 mesos, la resta del material forma part del prototip, de manera que es comptabilitza tot el seu cost.

5.8.4. Software

La taula següent ens indica quines eines software caldran, la majoria d'elles són gratuïtes i s'han utilitzat en diverses assignatures dins del Grau.

Producte	Cost	Vida útil	Amortització
Windows 8.1	0€ (versió estudiant)	-	0,00€
Microsoft Office 2015	119€	3 anys	16,53€
Apache HTTP Server	0€	-	0,00€
HighCharts JS	0€(versió no comercial)	-	0,00€
GanttProject	0€	-	0,00€
Google Chrome	0€	-	0,00€
Google Drive	0€	-	0,00€
Dropbox	0€	-	0,00€
GitHub	0€ (versió estudiant)	-	0,00€
Arduino IDE	0€	-	0,00€
Sublime Text 3	0€(versió gratuïta)	-	0,00€
TOTAL			16,53€

Taula 6. Cost estimat del pressupost software

5.8.5. Despeses indirectes

En aquesta secció es tenen en compte despeses associades a la realització del projecte, com poden ser: l'electricitat, el paper, el transport i l'accés a Internet.

Producte	Preu	Temps	Cost aproximat
Electricitat	0,139€/kWh * ~0,16kW	450h	10,00€
Paper	27,21€	-	27,21€
Transport	10€	5 mesos	50,00€
Accés a Internet	30€	5 mesos	150,00€
TOTAL			237,21€

Taula 7. Estimació de les despeses indirectes.

5.8.6. Despeses imprevistes

Els únics costos imprevistos que podrien sorgir serien els d'una mala elecció del microcontrolador utilitzat per diversos motius, com: insuficiència de pins disponibles, quines són les diferents possibilitats que ofereix a nivell de configuració o una insuficiència de memòria disponible. Una altra despesa podria ser que es cremés algun component intern d'algun element per una excessiva elecció de les diverses fonts d'alimentació necessàries. Si el microcontrolador no fos l'adequat, se n'hauria d'adquirir un de nou per un preu aproximat màxim de 50€. Tot i això, el risc es força baix. En cas que per algun altre motiu no tingut en compte es produís una desviació considerable, es reorganitzaria el diagrama de Gantt.

5.8.7. Pressupost total

Finalment, ajuntant totes les despeses calculades anteriorment tindrem el pressupost total del projecte.

Concepte	Cost
Despeses directes	14.580,00€
Despeses indirectes	2.030,71€
Contingència (3%)	451,88€
Despeses imprevistes	50,00€
TOTAL	17.112,59€

Taula 8. Cost total estimat de la fase inicial

5.8.8. Control de gestió

El pressupost calculat pot presentar variacions. Tot i això, no s'esperen grans desviacions respecte als costos presentats, exceptuant el perill d'haver de comprar material addicional a causa de factors no tinguts en compte o al seu trencament. A mesura que el projecte vagi evolucionant, es podrà determinar el cost real dels recursos i les hores dedicades dins de cada secció.

6. Planificació final

El desenvolupament del projecte ha seguit l'esquema d'iteracions que van entre dues i tres setmanes, tot i que l'ordre de les tasques s'ha vist lleugerament modificat. S'ha canviat l'ordre d'alguna iteració atesa la seva rellevància i d'acord amb el temps disponible. La llista definitiva d'iteracions és la següent:

1. Disseny d'una pàgina web per visualitzar-ne les dades: s'ha creat una base de dades poblada amb dades falses generades per poder-les visualitzar, tot comprovant que la llibreria gràfica s'adequa a allò que es necessita.
2. Adquisició del mòdul WiFi: s'ha integrat el mòdul amb el microcontrolador i comunicat amb un portàtil utilitzant el protocol HTTP.
3. Verificació del convertidor RS-232 a TTL: per verificar que aquest component (encarregat de permetre que la placa microcontroladora pugui llegir les dades provinents de la bàscula) funcionés correctament, s'ha connectat a un ordinador i s'ha fet un pont als pins de recepció (RX) i transmissió (TX). Després, amb un petit programa s'ha verificat que es llegís la informació enviada.
4. Lectura d'una bàscula amb l'ordinador utilitzant el microcontrolador com a pont: com que s'ha hagut de reemplaçar la interfície RS-232 de tipus mascle de la bàscula per una altra de tipus femella, calia verificar que funcionés, de manera que s'ha escrit un programa perquè tot el que llegís el microcontrolador procedent de la bàscula, anés directament a l'ordinador a través de la comunicació en sèrie mitjançant un cable.
5. Programació dels servomotors: un cop s'han adquirit els servomotors, s'ha escrit un petit programa per entendre'n millor el funcionament.
6. Comunicació completa: un cop s'ha verificat que cada un dels segments de les comunicacions és correcte, s'ha comprovat que tots els elements estan correctament integrats entre si i s'han enviat les dades procedents de la bàscula utilitzant el mòdul WiFi.
7. Programació de la lògica del microcontrolador: implementació del comportament del microcontrolador per saber com gestionar les dades, controlar els servomotors que condueixen el flux d'aigua i posterior enviament al servidor remot.
8. Construcció del pluviògraf: un cop s'ha programat pràcticament del tot el comportament del pluviògraf, s'ha començat a realitzar la construcció d'un prototip per comprovar que funciona com s'espera.

9. Finalització del web: tot i que en les primeres etapes del projecte s'ha començat amb la part web, no ha estat fins al final que s'ha deixat del tot llesta aquesta fase.

Aquest projecte ha tingut una càrrega aproximada de 490 hores. L'augment d'hores per realitzar aquest sistema correspon principalment a les etapes d'implementació, testeig, construcció del prototip i redacció de la memòria.

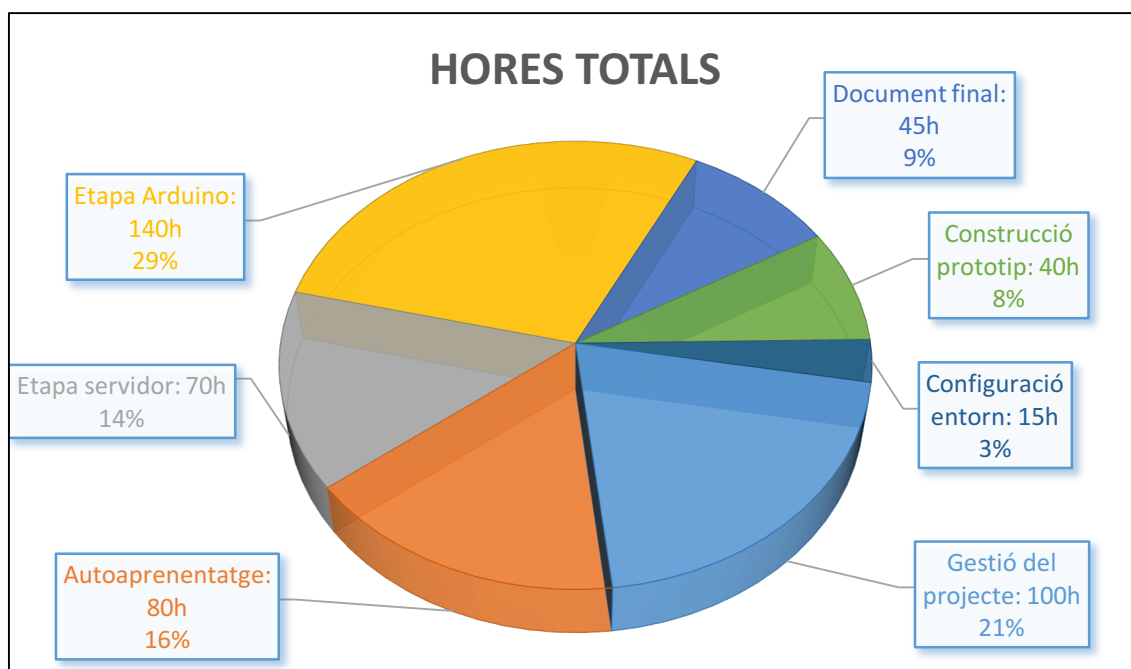


Figura 5. Distribució real d'hores

6.1. Diagrama de Gantt real

El diagrama de Gantt que hi ha a continuació conté totes les fases que finalment s'han portat a terme. A la figura 6 es pot observar com s'han dedicat més dies a les fases de tot allò relacionat amb la programació de la placa del microcontrolador, la construcció del prototip i la redacció de la memòria. Durant l'etapa del programació del mòdul WiFi, hi van haver una sèrie de complicacions, atesa una incompatibilitat amb les llibreries necessàries i finalment es va haver de tirar per un altre camí. Quant a la construcció del prototip, ha estat més complicat del que es pensava des d'un principi i alguns materials no s'han pogut obtenir pràcticament fins al final de la data de lliurament. La memòria s'ha començat a redactar força abans del que s'havia planejat per avançar feina. La fase de visualització web s'ha deixat pel final ja que s'ha donat prioritat al muntatge del pluviògraf.

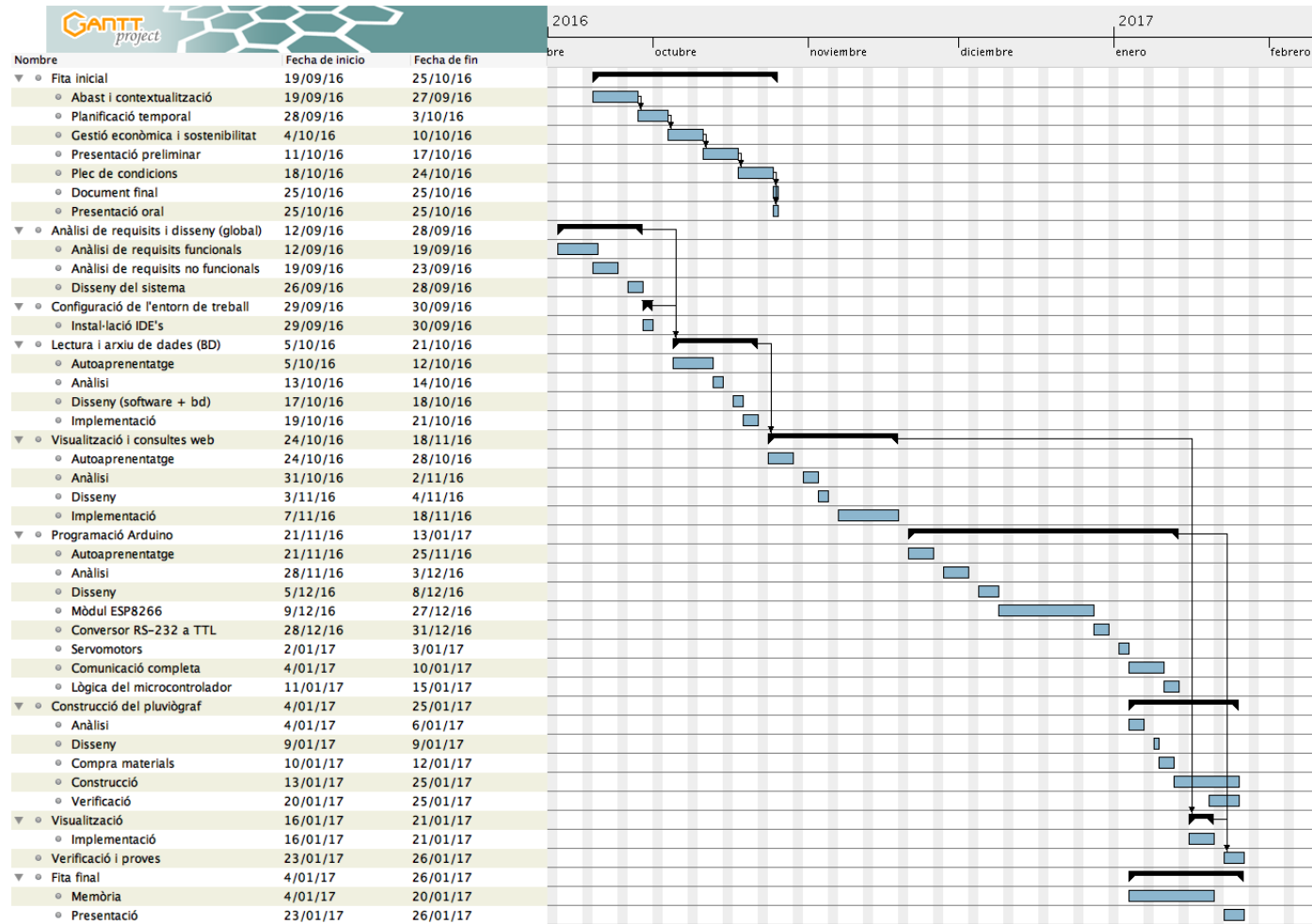


Figura 6. Diagrama de Gantt real

Com que finalment han calgut 495 hores per portar a terme tot aquest sistema, la planificació final per hores queda de la manera següent:

Tasca	Rol	Hores
Configuració entorn		15 h
Definició de l'abast i contextualització	Cap de projecte	35 h
Planificació temporal	Cap de projecte	25 h
Gestió econòmica i sostenibilitat	Cap de projecte	20 h
Presentació prèvia	Cap de projecte	10 h
Informe de seguiment	Cap de projecte	10 h
Gestió del projecte		100 h
Anàlisi	Analista	15 h
Disseny	Dissenyador	10 h
Implementació	Programador	85 h
Proves	Tester	30 h
Etape Arduino		140 h
Anàlisi	Analista	5 h
Disseny	Dissenyador	10 h
Implementació	Programador	45 h
Proves	Tester	10 h
Etape Servidor		70 h
Anàlisi	Analista	2 h
Disseny	Dissenyador	4 h
Adquisició del material	Tècnic	5 h
Muntatge	Tècnic	29 h
Construcció prototip		40 h
Autoaprenentatge		80 h
Document final		45 h
TOTAL		490 h

Taula 9. Estimació real d'hores

6.2. Recursos humans

Com que la planificació ha variat des que va ser definida al principi fins al moment de la seva finalització, el cost final dels recursos humans ha variat. Si comparem les taula 10 amb la taula 4 podem observar la diferència de costos. La principal diferència quant al cost total correspon al nombre d'hores dedicades per part del cap de projecte.

Rol	Preu per hora	Hores aproximades	Cost total
Cap de projecte	50€/h	145h	7.250€
Analista	40€/h	40h	1.600€
Dissenyador	35€/h	30h	1.050€
Programador	25€/h	189h	4.725€
Tester	25€/h	52h	1.300€
Tècnic muntatge pluviògraf	15€/h	34h	510€
TOTAL		490h	16.435€

Taula 10. Cost real del recursos humans

6.3. Hardware i material

Inicialment, no es va preveure el cost d'alguns components, com els materials necessaris per muntar el prototip del pluviògraf, i d'altres que han costat més. Tot i això, aquest increment no arriba al 4%.

Producte	Unitats	Cost	Vida útil	Amortització (5 mesos)
Ordinador de sobretaula	1	500,00€	5 anys	41,67€
Bàscula CB Complet M-620CBC	2	1646,00€	3 anys	-
Servomotor	2	28,00€	4 anys	-
Embut 14cm	2	2,70€	-	-
Tub silicona 15x20mm, 1m	1	6,00€	-	-
Tub silicona 3x5mm, 1m	1	0,60€	-	-
Tub silicona 6x10mm, 0,7m	1	1,54€		
Arduino Mega	1	34,50€	10 anys	-
Conversor RS232 a TTL	2	16,89€	5 anys	-
Mòdul WIFI ESP-8266	1	10,58€	5 anys	-
Cables	1	2,44€		
Tubs de PVC	6	5,12€		
Barres d'alumini	2	4,40€		
Brides	50	3,00€		
Epoxy	1	6,75€		
Adhesiu segellador	1	6,95€		
Aglomerat 600x300x16mm	1	2,40€		
Recipient 600cl	3	2,85€		
Recipient 2000cl	2	14,50€	-	-
TOTAL				1.836,89€

Taula 11. Cost real recursos hardware i material

6.4. Software

El cost del software ha estat idèntic al calculat durant la fase inicial del projecte. Un total de 16,53€ com es pot veure a la taula 6.

6.5. Despeses indirectes

Quant a les despeses indirectes, l'únic canvi que hi ha hagut ha estat en el consum energètic, ja que s'hi han dedicat més hores de les planificades inicialment tot i que l'augment és mínim.

Producte	Preu	Temps	Cost aproximat
Electricitat	0,139€/kWh * ~0,16kW	450h	10,90€
Paper	27,21€	-	27,21€
Transport	10€	5 mesos	50,00€
Accés a Internet	30€	5 mesos	150,00€
TOTAL			238,11€

Taula 12. Cost real de les despeses indirectes

6.6. Contingència

Quant a aquest tipus de despeses, a les quals es donava un marge del 3%, aquest ha augmentat. Com els costos directes s'han vist incrementats, també ho ha fet la contingència. A la taula 8 inicialment era de 451,88€. L'increment observat de la contingència inicial respecte de la real, que apareix a la taula 13, és de 41,17€.

6.7. Pressupost total

Finalment, després de calcular tots els costos reals que han aparegut anteriorment, el cost real que ha suposat aquest projecte és de 19.079,50€. A diferència del que es va calcular inicialment que va ser de 17.112,59€. El cost total s'ha vist incrementat en 1.966,91€.

Concepte	Cost
Despeses directes	16.435,00€
Despeses indirectes	2.091,53€
Contingència (3%)	493,05€
Despeses imprevistes	59,92€
TOTAL	19.079,50€

Taula 13. Pressupost total real

7. Sostenibilitat i compromís social

7.1. Viabilitat econòmica

L'objectiu principal del projecte no és el disseny i la construcció d'un producte que pugui ser comercialitzat. Per tant, el projecte per ell mateix no aportarà beneficis econòmics directes, sinó que caldrà considerar-lo com una inversió dins de l'àrea de recerca i estudis de precipitacions perquè resulti viable. Això significa que aquest projecte té el risc de no donar-li l'ús esperat i d'aquesta manera perdre la inversió.

S'ha de tenir en compte que el pressupost que s'ha definit, és per a la construcció d'un prototip del pluviògraf. Un cop verificat que ha passat tots els controls de qualitat i precisió necessaris, es canviaran alguns dels seus components com poden ser els embuts i els recipients contenidors d'aigua per d'altres més resistents a les adversitats climàtiques i es construirà una caseta perquè no li doni el sol de forma directa.

En tot cas, el pluviògraf construït compleix amb la funció requerida i sempre es poden ajustar o ampliar les seves funcionalitats gràcies a la seva construcció i programació de tipus modular⁴.

7.2. Viabilitat social

En referència a la part social, personalment, crec que aquest projecte m'ha estat de gran d'utilitat, ja que requereix de coneixements en diverses àrees ben diferenciades com el disseny de bases de dades relacionals, la programació de sistemes integrats i la construcció d'un prototip funcional. Deixant de banda la part tècnica, la meua contribució podrà ajudar tant a científics com a enginyers a cobrir una necessitat real i com a conseqüència, la ciutat, i els seus habitants en sortiran beneficiats.

Un cop estigui en producció, les dades seran accessibles des del web de l'Observatori Fabra.

⁴ La programació modular és un paradigma de programació en què es divideix el programa en mòduls o subprogrames amb la finalitat de fer-lo més llegible i mantenible.

7.3. Sostenibilitat mediambiental

Pel que fa a aquest aspecte, l'elaboració del projecte utilitza diferents recursos que afecten el medi ambient. L'adquisició del material i el fet que un cop estigui en producció i que hi hagi les dues bàscules, el microcontrolador, els servomotors i el servidor web consumint energia elèctrica de forma constant per poder funcionar, fa que hi hagi un impacte medi ambiental.

Aquest TFG informatitza totes les seves dades des del moment en què es detecta pluja. Això implica un consum d'energia elèctrica més elevat que la resta a l'haver de controlar els diversos components que el formen. Encara que la majoria dels pluviògrafs actuals que estan en ús utilitzen paper, aquest pluviògraf no ho fa, sinó que pot obtenir l'electricitat a partir de fonts renovables d'energia. D'aquesta manera es contribueix a no augmentar la demanda existent d'aquest escàs recurs, un problema que ens afecta a tots.

7.4. Puntuació de sostenibilitat

Finalment, després d'analitzar aquestes tres àrees, s'ha creat una matriu de sostenibilitat donant una puntuació màxima de 10 a cada casella (aquesta nota representa un TFG sostenible respecte dels criteris considerats), i una mínima de 0 (un TFG gens sostenible).

És sostenible?	Econòmica	Social	Ambiental
Planificació	6	8	8
TOTAL	24/30		

8. Requisits del sistema

8.1. Requisits funcionals

- El pluviògraf ha de comptabilitzar tota l'aigua pluvial rebuda fins a l'última gota sense interrupcions.
- Es mostrarà com a mínim a les gràfiques la mateixa informació que hi ha actualment disponible al web de l'Observatori Fabra, és a dir, la quantitat acumulada de precipitació.

8.2. Requisits no funcionals

- Modularitat: el sistema ha d'assegurar la independència entre els diferents components que l'integren.
- Fiabilitat: el pluviògraf ha d'estar pensat per tenir una llarga durada, de manera que sempre es tingui en compte la vida útil dels elements que el componen.
- Portabilitat: el pluviògraf ha de ser fàcil de configurar si es creen més unitats i es despleguen en altres punts geogràfics.
- Es requerirà d'un plànol per a una futura rèplica del pluviògraf que mostri la planta, l'alçat, el perfil i una vista en perspectiva.

9. Disseny del sistema

Després d'haver realitzat les fases de context i anàlisi, que han permès especificar els requisits, dimensionar el problema i plantejar una solució, s'entrarà en detall sobre les decisions preses a l'hora de dissenyar tant l'arquitectura hardware, software com la de l'equip de recollida.

A la figura 7, es pot veure un diagrama que mostra els elements implicats dins d'aquest sistema. L'equip de recollida format per l'aparell físic construït i els elements electrònics que l'integren, envien les dades sobre la quantitat de precipitació atmosfèrica actual al servidor, on aquest ho llegirà utilitzant un *script* i tot seguit ho guardarà a una base de dades de forma persistent. Posteriorment, l'usuari final (o client), podrà consultar de forma interactiva l'històric del registre de les precipitacions fins a aquell moment.

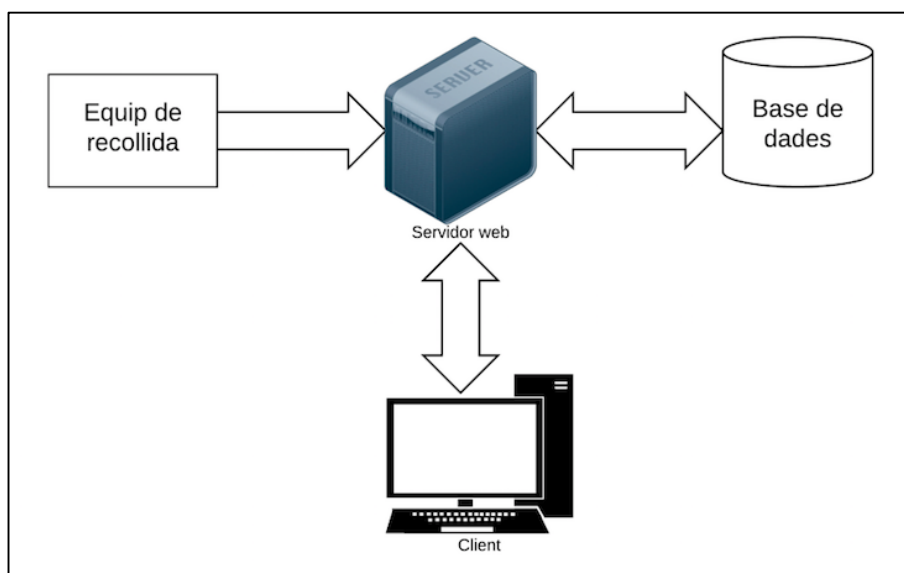


Figura 7. Diagrama del sistema

9.1. Equip de recollida d'aigües pluvials

A la figura 8, és veu una representació en 3 dimensions sobre com seria el disseny de forma aproximada de l'equip de recollida d'aigües pluvials, tot i que falten alguns elements com el sistema drenatge i els cables que formen els diferents tipus de comunicacions. A l'annex es pot veure un plànol amb les seves dimensions, que mostra la planta, l'alçat i el perfil.

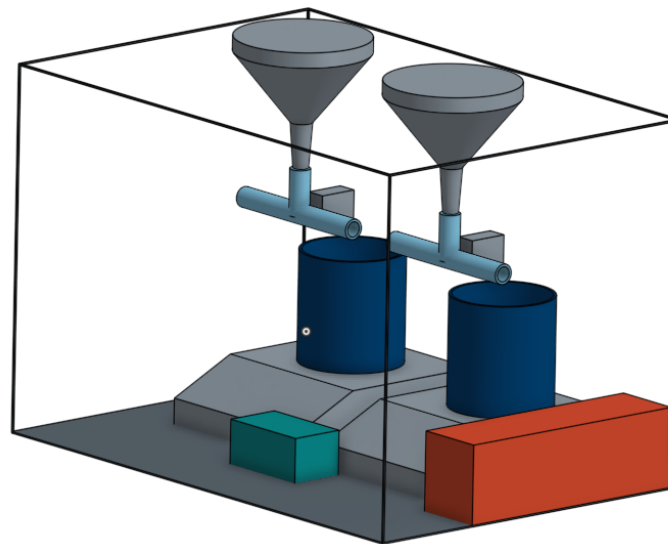


Figura 8. Equip de recollida d'aigua

El prisma rectangular verd representa l'*Arduino* i el vermell, la bateria que alimentarà tot aquest dispositiu.

9.1.1. Sistema de drenatge "efecte sifó"

Per aconseguir el buidat automàtic del recipient contenidor d'aigua, s'ha usat la tècnica coneguda com "efecte sifó". Un sifó en forma de "U" invertida, amb un dels seus extrems submergit dins de l'aigua, fa que aquesta aigua ascendeixi pel tub desguassant el recipient com a conseqüència d'això. Perquè el sifó funcioni, l'orifici de sortida ha de quedar per sota del d'entrada, ja que funciona per gravetat, i ha d'estar ple d'aigua perquè aquesta connectivitat permeti que el pes de l'aigua en la branca del desguàs sigui la força que eleva el fluid en l'altra branca.

Si el sistema està totalment ple de d'aigua, el pes de la part externa del tub (la més llarga) serà major que la part interna (més curta). Aquesta diferència de pressions permet vèncer el pes de la columna interior, i determina que l'aigua pugi i sigui arrossegada a sortir del recipient.

Perquè el sifó funcioni, és indispensable, per tant, que el tub estigui totalment ple d'aigua, amb el seu extrem a un nivell inferior al del recipient contenidor d'aigua. En aquest cas, es diu que el sifó es troba encebat.

D'aquesta manera, és indispensable que no entri aire per l'entrada del tub, ja que en aquest cas es buidaria el líquid del sistema de vasos comunicants que constitueixen el sifó.

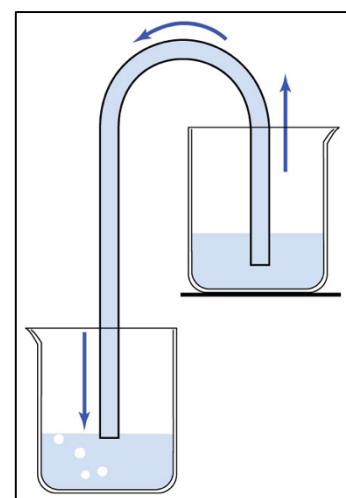


Figura 9. Efecte sifó

9.2. Sistema d'adquisició de dades i control

Aquest subsistema encarregat de llegir, processar les dades i controlar el funcionament de l'equip de recollida, està format per la placa microcontroladora, pels dos conversors RS-232 a TTL (que converteixen els senyals elèctrics procedents de les bàscules de manera que els nivells de senyals i alimentació siguin compatibles amb els components de la placa del microcontrolador), els dos servomotors i finalment el mòdul WiFi que enviarà les dades al servidor.

9.2.1. Hardware

A la figura 10, es pot veure un diagrama de blocs que indica els diferents mòduls que hi participen i en quina direcció viatgen les dades.

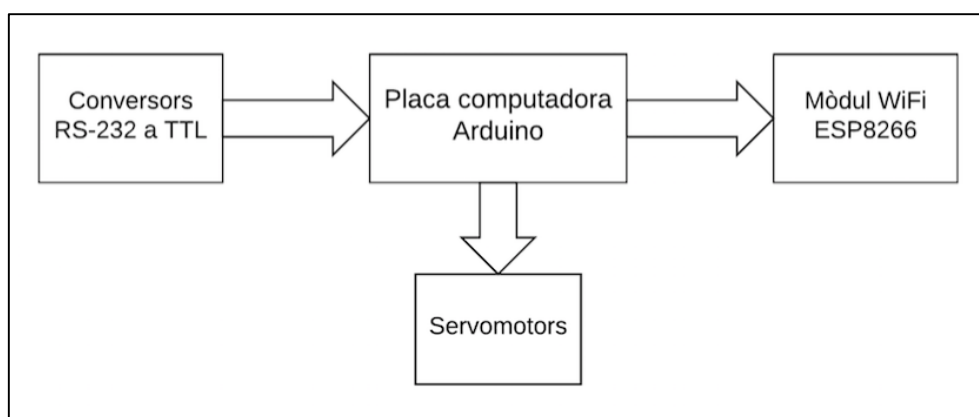


Figura 10. Diagrama d'interacció amb la placa microcontroladora Arduino

A continuació, es pot veure a la figura 11 el diagrama de connexió, corresponent. Aquesta configuració compta amb sis elements que necessiten una font d'alimentació: la placa microcontroladora, dos conversors RS-232 a TTL, dos servomotors i el mòdul WiFi ESP8266. Com que l'*Arduino* no pot oferir l'energia necessària per alimentar tots els components externs, s'ha utilitzat una font externa que ofereix un mínim de 5 V (en el diagrama apareix com dues piles AA). El mòdul WiFi en canvi, sí que és alimentat per l'*Arduino*, ja que necessita 3,3 V amb un marge de tolerància de $\pm 0,3$ V i la placa té un pin de sortida de 3 V. Oferint aquest voltatge no s'ha notat cap empitjorament en el seu funcionament, ja que es troba dins del límit inferior del marge de tolerància.

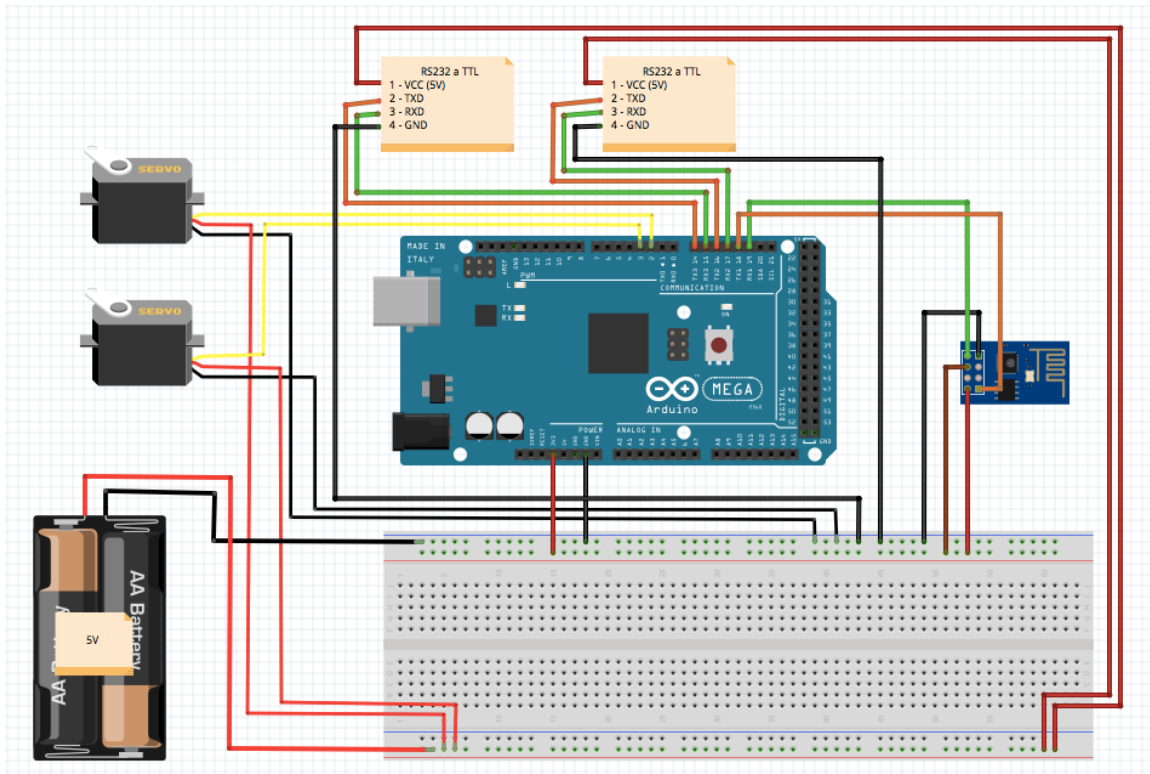


Figura 11. Diagrama de configuració de l'Arduino

9.2.2. Software

S'ha optat per realitzar una programació orientada a objectes respecte del clàssic paradigma de programació imperatiu⁵ ja que ofereix nombrosos avantatges. En són un exemple:

- Abstracció: permet aïllar cada element del sistema respecte de la resta. Es prioritza el "què fa?" en lloc de "com ho fa?".
- Modularitat: descomposició del sistema, amb la creació d'una sèrie de peces que col·laboren entre si per realitzar de forma conjunta allò que es necessita.
- Mantenibilitat: atesa la senzillesa d'abstreure el problema, es pot crear software més fàcil de llegir i entendre, ja que aquest permet d'amagar detalls d'implementació deixant només visibles aquells detalls més rellevants.
- Reusabilitat: quan s'han dissenyat adequadament les classes, es poden fer servir en diferents parts del programa i en altres projectes permetent crear software més sofisticat.

⁵ Paradigma de programació on es descriu com ha de realitzar-se un càlcul, no per què.

A continuació, es veuran les classes implicades dins de l'*Arduino* i del servidor web.

9.2.2.1. Software de l'Arduino

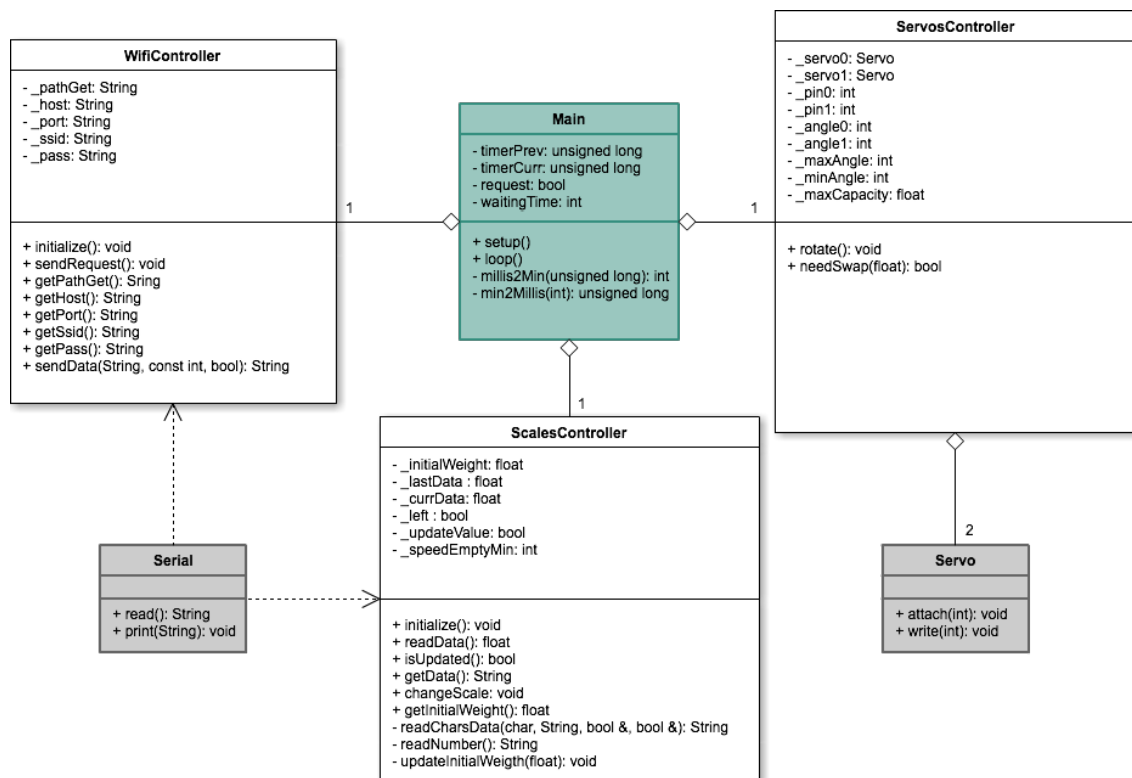


Figura 12. Diagrama de classes de l'Arduino

El programa principal (Main) és l'encarregat de controlar la resta de classes i portar tota la lògica necessària per detectar quan plou, quan cal moure els servomotors i enviar les dades al servidor web.

9.2.2.2. Software del servidor

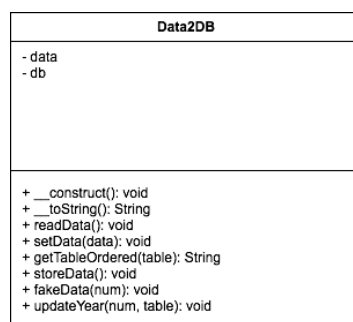


Figura 13. Diagrama de classe per part del servidor

Aquesta classe es dedica a rebre la informació que li arriba de l'equip de recollida, la guarda i després la processa per mostrar-la en les unitats que pertoca (mil·límetres). Compta també amb una funció per generar dades, ja que en un principi no n'hi havia.

9.3. Tecnologies de comunicacions utilitzades

Les tecnologies de comunicacions són fonamentals per facilitar la tasca de transmetre dades. Aquests disposen d'una interfície ben definida basada en estàndards, mitjançant els quals s'aconsegueix establir una comunicació entre dos dispositius qualssevol, configurats sota la mateixa interfície i norma.

A continuació, i al tractar-se de les tecnologies utilitzades finalment per a la integració del pluviògraf, es presenten en major profunditat les comunicacions en sèrie i el WiFi o estàndard IEEE 802.11.

9.3.1. Comunicació en sèrie (RS-232)

La comunicació sèrie és la que s'utilitza dins del protocol RS-232, on les dades es transfereixen a través d'un únic cable, per la qual cosa la transmissió ha de realitzar-se bit a bit, completant les dades a mesura que avança el temps.

Perquè un receptor interpreti una seqüència de dades, ha de prendre mostres sota intervals regulars de temps, a la mateixa velocitat amb la qual l'emissor ha generat aquesta seqüència. Això fa necessari que existeixi un component de sincronització anomenat *rellotge* o *clock*.

D'aquesta manera, existeixen dos mètodes de transmissió: el síncron i l'asíncron. Dins del mètode síncron, el rellotge és compartit pels dos dispositius, i pot estar generat per un dels dos o una font externa, fent que estiguin sincronitzats en tot moment.

En canvi, el mètode asíncron, funciona amb un rellotge a cada dispositiu, sincronitzats aquests últims a la mateixa freqüència, però susceptibles de petites diferències que en algun moment acabaran portant a un desfasament. Aquest problema pot ser resolt mitjançant la transmissió de paquets de mida fixa, resincronitzant la transmissió entre la recepció d'un paquet i el següent. Com que el microcontrolador fa servir aquest últim mètode de transmissió, se centrarà en aquest l'explicació.

Per transferir dades per la interfície en mode asíncron, juntament amb la informació, s'envien bits que indiquen el principi i el final d'un flux de dades. Amb això, una important característica que proporciona aquest mètode per la qual es diferencia del síncron, és que quan comença la transferència del paquet de dades, el receptor se sincronitza al moment en què l'emissor comença a enviar dades. A la figura 14, es pot veure un format de transmissió asíncrona.

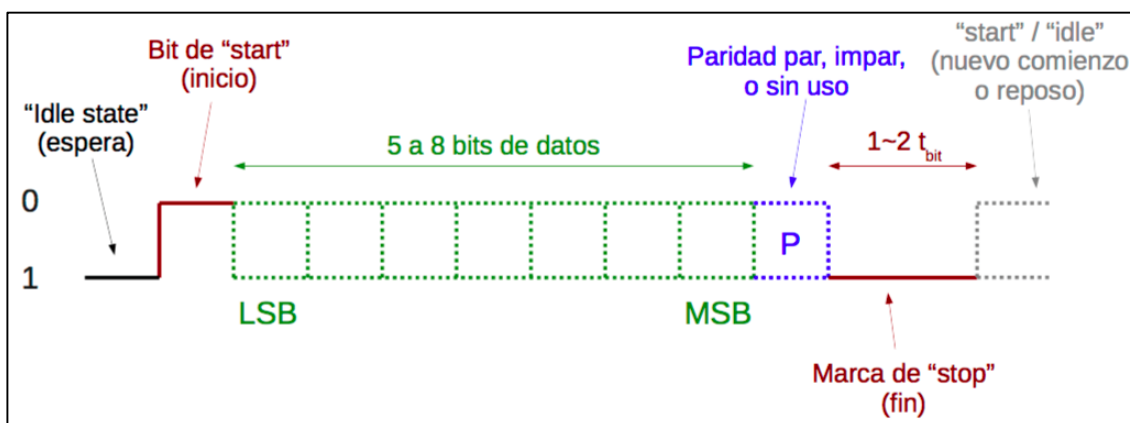


Figura 14. Transmissió asincrònica típica

Si es transfereixen valors digitals d'1 bit per unitat de temps, es poden classificar els bits del flux de dades en la quantitat que es veu a la figura anterior. Això és un paquet de dades de 5 a 8 bits més un bit de paritat i 2 bits indicadors.

Si per un temps indefinit la línia es manté a 1, no hi ha transmissió de dades i el receptor es manté en estat d'espera o *idle state*. Quan es canvia a 0, aquest primer bit conegut com a bit d'inici o de *start*, indica que comença una nova transmissió de dades (per a una mida de dades i velocitat prèviament determinats). Aquest bit permet que el receptor se sincronitzi posant en fase el seu *clock* amb el de l'emissor.

Després ve el paquet de dades (de 5 a 8 bits començant l'enviament pel bit menys significatiu) seguit d'un bit de paritat opcional (que es determina prèviament). Si la convenció es paritat parell, implica que el bloc total, incloent el bit de paritat, ha de tenir una quantitat parell d'uns. D'altra manera, el transmissor genera el bit de paritat de manera que el bloc total tingui un nombre senar d'uns.

Per indicar els paràmetres en la transmissió de dades, existeix una nomenclatura que es pot veure a la taula següent:

Velocitat de bits	Bits de dades	Paritat	Temps de "stop bit"
4800	5	N: <i>None</i> (sense)	1
9600	6	E: <i>Even</i> (parell)	1,5
19200	7	O: <i>Odd</i> (senar)	2
etc..	8		

Taula 14. Nomenclatura per als paràmetres de transmissió

En aquest projecte, la velocitat de transmissió de dades entre les bàscules i el microcontrolador és de 9600 bits per segon (o bauds), i per a la comunicació microcontrolador - servidor se n'utilitza una de 115200 bauds.

9.3.2. WiFi (IEEE 802.11)

L'especificació IEEE 802.11 és un estàndard internacional que defineix les característiques locals d'una xarxa sense fils (WLAN). Aquest estàndard estableix els nivells inferiors del model OSI⁶ per a les xarxes sense fils que utilitzen ones electromagnètiques com a mitjà de propagació:

- La capa física ofereix tres tipus de codificació de la informació
- La capa d'enllaç de dades està composta per dues subcapes: control d'enllaç lògic (LLC) i control d'accés al medi (MAC).

La capa física defineix la modulació de les ones de ràdio i les característiques de senyalització per a la transmissió de dades, mentre que la capa d'enllaç de dades defineix la interfície entre el bus de l'equip i la capa física.

Capa de enlace de datos (MAC)	802.2		
	802.11		
Capa física (PHY)	DSSS	FHSS	Infrarrojo

Figura 15. Capa física i capa d'enllaç de dades del protocol IEEE 802.11

Qualsevol protocol de nivell superior pot utilitzar-se en una xarxa sense fils de la mateixa manera que es pot utilitzar dins d'una xarxa Ethernet.

Existeixen diversos tipus d'interfícies independents entre si que es poden usar per implementar una xarxa sense fils WiFi:

- Els adaptadors sense fils o controladors de la interfície de la xarxa, són targetes de xarxa que permeten a un equip connectar-se a una xarxa sense fils.
- Els punts d'accés (abreviat PA) poden permetre a les estacions⁷ properes equipades amb WiFi accedir a una xarxa connectada a la qual el punt d'accés es connecta directament.

L'estàndard 802.11 defineix dos modes operatius:

- Mode infraestructura: els clients de la tecnologia sense fils es connecten a un punt d'accés.

⁶ Model de referència pels protocols de la xarxa d'arquitectura en capes, creat el 1980 per l'Organització Internacional de Normalització (ISO, International Organization for Standardization).

⁷ Una estació és qualsevol dispositiu que tingui aquest tipus de targeta.

- Mode ad-hoc: els clients es connecten entre si sense cap punt d'accés.

Dins d'aquest projecte només ens centrarem en el mode infraestructura, ja que és l'utilitzat per a la comunicació entre el microcontrolador i el servidor utilitzant un router per unir-se a la xarxa local de l'Observatori Fabra.

En el mode infraestructura, cada estació es connecta a un punt d'accés a través d'un enllaç sense fils. La configuració realitzada entre el punt d'accés i les estacions ubicades dins de l'àrea de cobertura s'anomena conjunt de servei bàsic o BSS.

És possible vincular diversos punts d'accés amb una connexió anomenada sistema de distribució (o SD) per formar un conjunt de servei estès o ESS.

A la figura 16 es pot veure un exemple de la seva tipologia:

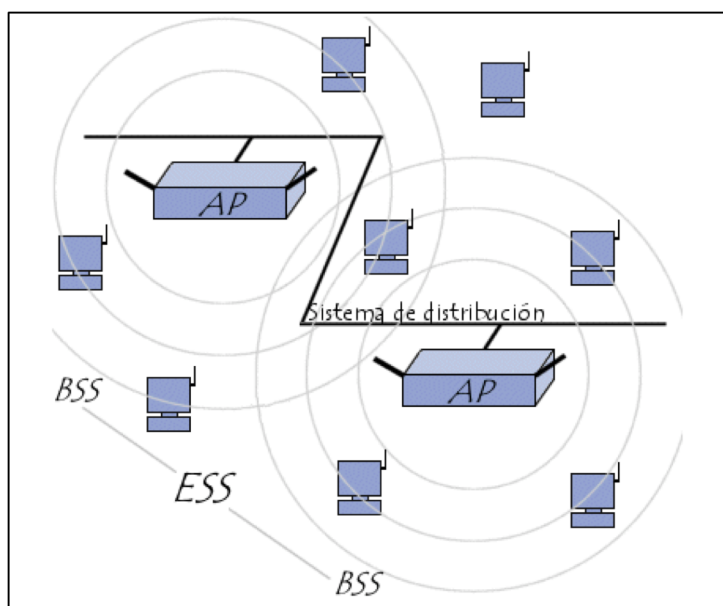


Figura 16. Esquema d'una xarxa sense fils WiFi

9.4. Components electrònics utilitzats

Dins d'aquest apartat, es veurà el conjunt de components electrònics utilitzats que integren el pluviògraf.

9.4.1. Arduino Mega 2560

L'*Arduino Mega* és una placa electrònica basada en l'ATmega1280. Té un total de 54 pins d'entrada i sortida, on 14 poden ser usats com sortides PWM⁸), 16 sortides analògiques,

⁸ La modulació per amplitud de banda d'un senyal o font d'energia és una tècnica en què es modifica el cicle de treball d'un senyal periòdic per generar un senyal analògic.

4 UARTS (ports en sèrie de tipus hardware), un cristall oscil·lador de 16MHz, una connexió USB, una font d'alimentació, una capçalera ICSP i un botó de resetejat.

Microcontrolador	ATmega1280
Voltatge operatiu	5 V
Voltatge d'entrada (recomanat)	7-12 V
Voltatge d'entrada (límits)	6-20 V
Pins digitals E/S	54
Pins analògics d'entrada	16
CC Corrent per pins E/S	40 mA
CC Corrent per pins 3.3V	50 mA
Memòria Flash	128 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocitat rellotge	16 MHz

Taula 15. Resum de l'Arduino Mega

A continuació es veuran característiques de la placa que cal conèixer:

- Alimentació: pot ser alimentat amb una connexió USB o a una font d'alimentació externa. Com que el pluviògraf estarà a l'exterior, s'usarà aquesta segona opció. La placa pot operar amb una font d'alimentació externa entre 6 i 20 volts. Si es fan servir menys de 7 volts, el pin de 5 volts oferirà segurament menys voltatge i la placa pot quedar inestable. Si s'usen més de 12 volts, el regulador de voltatge pot sobreescalfar-se i, com a conseqüència, fer malbé la placa. Es recomana un rang entre 7 i 12 volts.
- Entrada/Sortida: qualssevol dels 54 pins pot ser usat com una entrada i sortida, operen a 5V. Cada pin pot oferir o rebre un màxim de 40 mA.
- Comunicació: l'ATmega1280 ofereix 4 UARTs de tipus hardware per a comunicacions en sèrie TTL (5V).
- Programació: l'Arduino Mega pot ser programat amb el software Arduino. Un cop compilat el codi, es pot pujar el programa a la placa utilitzant un cable USB.

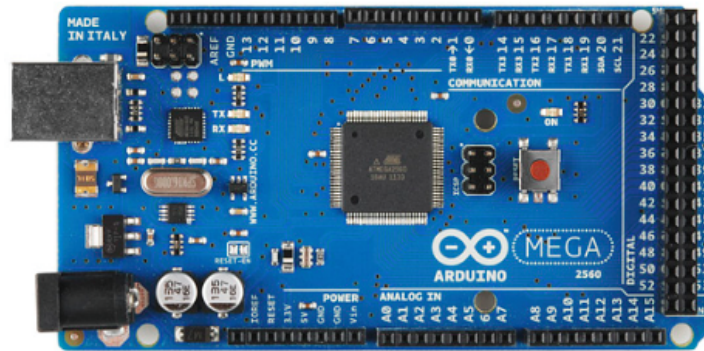


Figura 17. Arduino Mega 2560

9.4.2. Mòdul ESP8266 ESP-01

El mòdul ESP8266 és un WiFi SOC⁹ produït per Espressif Systems. És un mòdul altament integrat dissenyat per proveir una alta connectivitat a internet en un format reduït.

ESP8266 pot ser fer servir com un mòdul extern, usant les comandes estàndard AT¹⁰ connectant-lo a qualsevol microcontrolador usant a través del serial UART.

Aquest dispositiu és utilitzat freqüentment en entorns del *Internet of Things*, on es vol afegir connectivitat a un microcontrolador i gran part del seu èxit rau en el seu reduït preu.

Existeixen diverses variants d'aquest xip. El que s'ha fet servir és el model ESP-01.

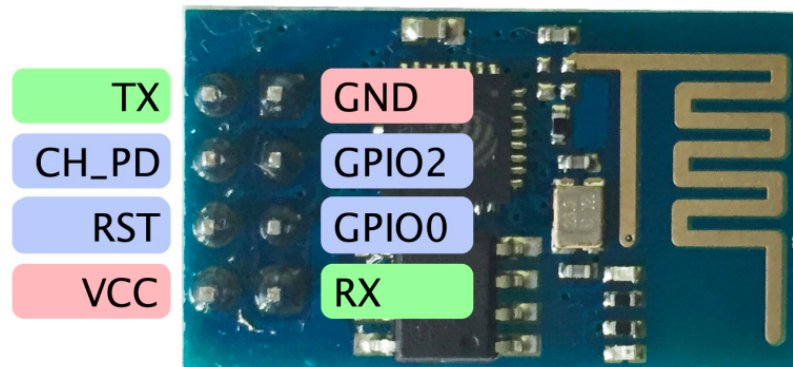


Figura 18. Mòdul WiFi ESP8266 ESP-01

9.4.3. Bàscula CB Complet M-620CBC

És una balança electrònica d'alta precisió equipada amb mecanismes de gran exactitud, tot això dins d'una carcassa de dimensions reduïdes.

⁹ Sistema en un xip (*system on a chip*).

¹⁰ Llenguatge desenvolupat per la companyia Hayes Communications que permet configurar i parametritzar mòdems.

Ofereix una sèrie de funcionalitats, com per exemple:

- Mode comptar peces per calcular la quantitat d'unitats.
- Mode de percentatge per realitzar una pesada comparativa que s'obté en percentatges.
- Funció de límits de pes per poder mesurar quantitats constants realitzant pesades consecutives.

De tota manera, en aquest projecte no caldrà utilitzar cap d'aquestes funcions i només caldrà pesar l'aigua.



Figura 19. Bàscula CB Complet M-620CBC

9.4.4. Convertidor RS-232 a TTL

Mòdul altament usat en modificacions de tipus ràdio. Permet connectar una comunicació en sèrie TTL d'un microcontrolador o ordinador a un bus RS-232. En aquest projecte és necessari, ja que farà d'intermediari entre les comunicacions de l'*Arduino* i les bàscules.

Ofereix les característiques següents:

- Voltatge operatiu: 3.3 V - 5 V CC
- Corrent operatiu: 6mA
- Font d'alimentació: externa
- Interfície (pins): TXD, RXD, GND, VCC

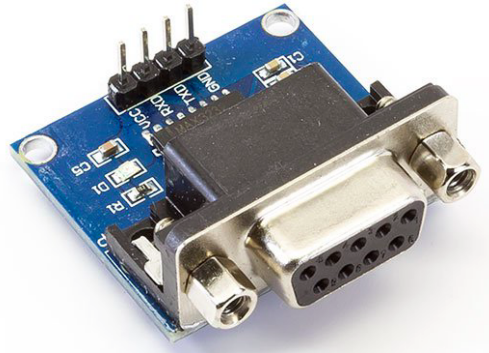


Figura 20. Convertidor RS-232 a TTL

9.4.5. Servomotor Futaba S3003

Un servomotor és un motor especial de corrent continu que es caracteritza per la seva capacitat de controlar la posició en l'angle que dóna el senyal d'entrada de control. Per aconseguir-ho, el servomotor espera una seqüència de polsos que es corresponen amb el moviment a realitzar.

Estan generalment compostos per un amplificador, un motor, un sistema reductor format per rodes dentades i un circuit de realimentació, tot dins d'una caixa de petites dimensions. El resultat és un servo de posició amb un marge d'operació d'uns 180°.

Els tres cables de connexió externa són:

- Vermell: alimentació, Vcc (~5 volts)
- Negre: connexió a terra (GND)
- Blanc o groc: línia de control per mitjà de la qual s'envia el senyal codificat per comunicar l'angle en el qual ha de ser col·locat.

El control del posicionament del servomotor es realitza mitjançant PWM i es limita a controlar en quina posició ha d'estar. Això es porta a terme amb una sèrie de polsos de manera que la durada del pols indica l'angle de gir del motor. Cada servomotor té els seus marges d'operació, que es corresponen amb l'amplada del pols màxim i mínim que el servo entén. Els valors més generals corresponen amb polsos d'entre 1ms i 2 ms d'amplada, que deixarien el motor en extrems oposats (0° i 180°). El valor 1,5 ms indicaria la posició central o neutra (90°), mentre que altres valors de pols el deixarien en posicions intermèdies.

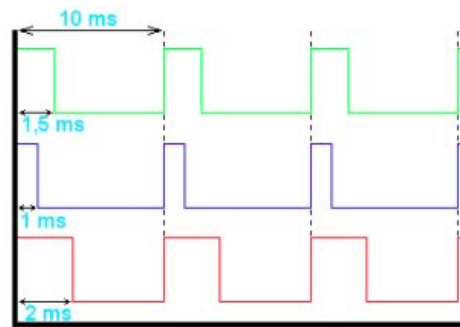


Figura 21. Seqüència de polsos per al control del servomotor

Arduino compta amb una llibreria enfocada a la gestió de servomotors, de manera que es facilita la seva programació.

Les funcions que s'usaran seran:

- `attach(int pin)`: uneix el servo a un pin.
- `write(int angle)`: escriu un valor al servo, controlant el seu moviment. En un servomotor estàndard, aquest valor és l'angle de posicionament en graus.



Figura 22. Servomotor Futaba S3003

10. Implementació

Dins d'aquest apartat, s'explicarà la part més tècnica d'aquest projecte. Es veuran els detalls més rellevants sobre tota l'etapa d'implementació del pluviògraf i com s'ha utilitzat l'API¹¹ de *HighCharts* per a la visualització de dades.

10.1. Placa microcontroladora: Arduino

A continuació, s'explicarà com funciona el programa principal carregat dins de l'*Arduino*, les seves funcions i com interactua amb les altres classes programades per gestionar l'arribada de les dades procedents de les bàscules, com les interpreta, i quan és necessari enviar-les al servidor.

10.1.1. Setup()

La funció `setup()` és cridada quan l'esbós (o *sketch*¹²) comença. S'utilitza per a la inicialització de variables, modes de pins, inicialització de llibreries, etc. Només s'executa quan s'encén l'*Arduino* o es reseteja. S'ha observat que alguns mètodes no funcionen correctament aquí dins, de manera que s'ha intentat evitar al màxim complicar aquesta funció. A continuació, es pot veure com s'inicialitzen els 3 controladors i algunes variables de control.

```
1 void setup()
2 {
3     timerPrev = millis();
4     wifiController.initialize();
5     scalesController.initialize();
6     servosController.initialize();
7     waitingTime = 5;
8     valuePrev = 0.000;
9 }
```

10.1.2. Loop()

La funció `loop()` itera de forma indefinida, permet al programa canviar i respondre. S'utilitza per controlar de forma activa la placa. Aquesta funció és l'encarregada de decidir quan moure els servomotors o enviar les dades al servidor web. És on s'integren tots els elements programats de forma aïllada.

¹¹ Una API (*Application Programming Interface*) és un conjunt de subrutines, funcions i procediments que ofereix una llibreria per ser utilitzat per un altre programa.

¹² Un *sketch* és el nom que *Arduino* utilitza per a un programa. És la unitat de codi que és pujat i executat a la placa.

```

1 void loop()
2 {
3     delay(100);
4     timerCurr = millis();
5     value = scalesController.readData();
6
7     bool change = servosController.needSwap(value);
8     if (change) {
9         scalesController.changeScale();
10    }
11
12    // After several time (waitingTime), send data to web server
13    if (timerCurr - timerPrev >= sec2Millis(waitingTime)) {
14        Serial.println("Sending data to web server");
15        timerPrev = timerCurr; // Update previos timer
16        String data = scalesController.getData();
17        wifiController.sendRequest(data); // Send request to the
server
18    }
19    valuePrev = value;
20 }

```

A l'inici, es deixa un cert temps d'espera (*delay*) per evitar que s'omplin els *buffers* dels ports i donar temps als servomotors per moure's en cas que sigui necessari. Després, es decideix si s'ha de canviar la lectura de la bàscula i, com a conseqüència, moure els servomotors per redirigir el flux d'aigua. Finalment, es mira si ha passat un cert temps (*waitingTime*) per poder enviar les dades al servidor.

10.1.3. WifiController

Aquesta classe és la responsable d'enviar les dades que rep des del programa principal al servidor web. La comunicació de l'Arduino amb el mòdul WiFi es realitza mitjançant comandes AT que ja vénen instal·lades per defecte en el dispositiu.

A la figura 16, es veu quins paràmetres són necessaris per a la seva configuració. S'ha procurat facilitar la mantenibilitat del codi al màxim possible, de manera que cada classe compti amb un mètode anomenat `initialize()` on s'insereixen tots els paràmetres necessaris per al seu desplegament a una nova ubicació física.

A la taula 16 es poden veure els seus atributs i per què serveixen:

Atribut	Definició
<code>_pathGet</code>	Fitxer destí
<code>_host</code>	Direcció IP del servidor
<code>_port</code>	Port
<code>_ssid</code>	Nom de la xarxa WiFi
<code>_pass</code>	Contrasenya de la xarxa

Taula 16. Atributs *WifiController*

Finalment, s'envien les comandes AT necessàries per a la correcta configuració.

```
1 void WifiController::initialize()
2 {
3     Serial1.begin(115200);
4     Serial.begin(115200);
5     delay(500);
6
7     this->_pathGet = "/projecte/test_esp8266.php";
8     this->_host = "XXX.XXX.X.XX";
9     this->_port = "80";
10    this->_ssid = "XXXXXX_XX";
11    this->_pass = "XxxXXxxxXXxxx";
12
13    sendData("AT+RST\r\n", 2000, DEBUG); // reset module
14    sendData("AT+CWMODE=3\r\n", 2000, DEBUG); // configure as
    access point
15    sendData("AT+CWJAP=\"" + getSSID() + "\",\"" + getPass() +
    "\"\r\n", 10000, DEBUG);
16    sendData("AT+CIFSR\r\n", 10000, DEBUG); // get ip address
17    sendData("AT+CIPMUX=1\r\n", 1000, DEBUG); // configure for
    multiple connections
18 }
```

La velocitat òptima de transmissió de dades per al mòdul ESP8266 és de 115200 bauds.

Per transmetre la informació al servidor, s'enviaran les següents comandes AT:

```
1 void WifiController::sendRequest(String data)
2 {
3     sendData("AT+CIPSTART=0,\"TCP\",\"" + getHost() + "\",80\r\n",
4             5000, DEBUG);
5     sendData("AT+CIPSEND=0,88\r\n", 5000, DEBUG);
6     sendData("GET " + getPathGet() + "?data=" + data + "
7             HTTP/1.0\r\nHost: " + getHost() + "\r\n\r\n", 8000, DEBUG);
8     sendData("AT+CIPSTART=0,\"TCP\",\"" + getHost() + "\",80\r\n",
9             5000, DEBUG);
10 }
```

Es garanteix que les dades seran lliurades al seu destinatari sense errors, ja que s'utilitza el protocol TCP¹³.

10.1.4. ScalesController

Aquest controlador és l'encarregat de configurar i administrar la informació que es llegeix de cada bàscula.

Els seus atributs són els següents:

Atribut	Definició
_left	Indica amb quina bàscula es treballa
_lastData	Valor anterior de la lectura
_currData	Valor actual de la lectura

¹³ El Protocol de Control de Transmissió (*Transmission Control Protocol*) és un dels principals protocols de la capa de transport del model TCP/IP.

_initialWeight	Valor inicial del pes que marca la bàscula
_data	Lectura en format de text

Taula 17. Atributs ScaleController

```

1 void ScalesController::initialize()
2 {
3     Serial.begin(9600);
4     Serial2.begin(9600);
5     Serial3.begin(9600);
6     delay(500);
7
8     this->_left = false;
9     this->_lastData = 0.000;
10    String initial = readNumber();
11    this->_initialWeight = initial.toFloat();
12 }

```

Dins d'aquesta funció, es llegeix el valor actual que marca la bàscula, de manera que no es tingui en compte el pes d'altres elements com el contenidor d'aigua i que, amb la següent operació, s'obté el pes real:

$$Pes\ Real = pes\ actual - pes\ inicial$$

D'aquesta forma, es pot llegir correctament el pes actual de l'aigua que hi ha.

El paper més rellevant d'aquesta classe és que llegeix les dades provinents de les bàscules que vénen amb el següent format de text:

signeXXXX.XXX_G_S/U

El mètode `readNumber()` s'encarrega de llegir de la bàscula que correspon en aquell moment i es queda només amb el valor numèric de la cadena de caràcters.

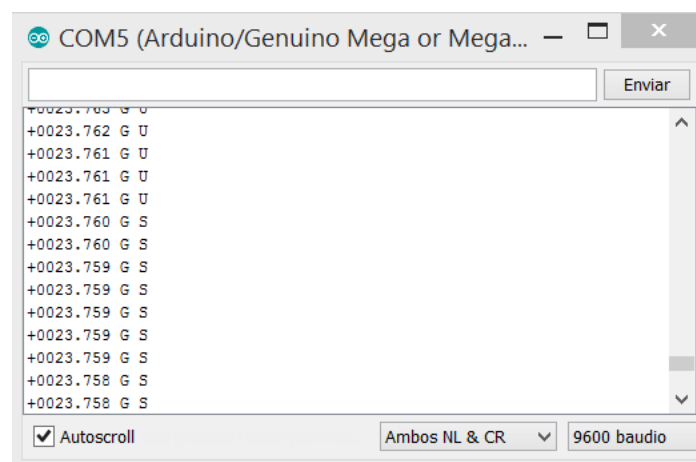


Figura 23. Exemple entrada bàscula

10.1.5. ServosController

Aquesta classe s'encarrega de detectar quan cal moure els servomotors per redirigir el flux d'aigua i, en cas de considerar-ho necessari, canviar el seu actual angle de gir que fins a aquell moment romania estable per actualitzar l'angle de gir que els pertoca.

Els atributs que té són els següents:

Atribut	Definició
_servo0	Servo amb id = 0
_servo1	Servo amb id = 1
_pin0	Pin de control que referencia al servo 0
_pin1	Pin de control que referencia al servo 1
_angle0	Angle actual del servo 0
_angle1	Angle actual del servo 1
_maxAngle	Angle màxim de rotació
_minAngle	Angle mínim de rotació

La funció de rotació és la següent:

```

1 void ServosController::rotate()
2 {
3     if (this->_angle0 == this->_minAngle) {
4         this->_angle0 = this->_maxAngle;
5         this->_angle1 = this->_minAngle;
6     } else {
7         this->_angle0 = this->_minAngle;
8         this->_angle1 = this->_maxAngle;
9     }
10    this->_servo0.write(this->_angle0);
11    this->_servo1.write(this->_angle1);
12    delay(500);
13 }

```

Primer, es comproven els angles actuals dels servos, s'actualitzen al seu nou angle de gir i finalment es col·loquen a la nova posició.

10.2. Construcció del prototip

Perquè aquest projecte no es quedi únicament en un treball teòric, s'ha realitzat la construcció d'un prototip per verificar i entendre millor el funcionament global del pluviògraf. La seva construcció no ha estat senzilla i s'ha destinat força més temps del planificat inicialment al calendari, ja que alguns components no han estat fàcils de trobar i tampoc no es tenia experiència dins de l'àrea del bricolatge. Això ha significat comprar més material del necessari en alguns casos, realitzar experiments mitjançant prova i error arribant a vegades a un punt mort i tornar a replantejar algunes decisions de materials comprats.

La base del prototip està format per un aglomerat de fusta, on es troben unides 4 varetes d'alumini que formen l'esquelet que suporta el prototip. Per unir els tubs de silicona amb els servomotors s'ha utilitzat resina epoxi. Finalment, per aconseguir que funcionés el sistema de buidat, s'ha utilitzat metacrilat per guiar el tub de sortida cap a l'exterior i donar-li la forma de "U" invertida desitjada.

10.3. Servidor web

Abans de començar a implementar la part web, es va decidir quin tipus de plataforma s'acabaria utilitzant. Es va decidir de fer servir *XAMPP*, una distribució d'*Apache* gratuïta i fàcil d'instal·lar que conté *MariaDB* i *PHP*, entre d'altres. També inclou el mòdul *phpMyAdmin*, que facilita la gestió de les bases de dades. D'aquesta manera, instal·lat aquest paquet, ja es pot començar a programar.

10.3.1. Obtenció i emmagatzemat de les dades a la BD

És important que tots els documents amb extensió PHP que comencin de la manera següent perquè s'executin de forma indefinida:

```
1 <?php
2     ignore_user_abort(true);
3     set_time_limit(0);
4     ...
?>
```

Per llegir les dades provinents del mòdul ESP8266 es fa de la forma següent:

```
1 if (isset($_GET["data"]) ) {
2     $temp = $_GET["data"];
3 } else {
4     echo "Error";
5 }
6 $data = Array ("data" => $temp);
7 $id = $db->insert ('raw_data', $data);
```

L'*script* rep una petició de tipus GET i s'encarrega de guardar-ho a la taula *raw_data*.

Com que inicialment no es comptava amb dades, es va crear una funció que les generava imitant el comportament dels pluviògrafs actuals:

```

1 public function fakeData($num)
2     {
3         $this->db->rawQuery("DELETE FROM `raw_data`");
4         $this->fake = 1;
5         $fake_data = 0.000;
6         for ($i=0; $i < $num; $i++) {
7             if($i%100 === 0) {
8                 $fake_data = 0.000;
9             }
10            $data = Array ("data" => $fake_data);
11            $id = $this->db->insert('raw_data', $data);
12            $fake_data+=0.100;
13        }
    }

```

10.3.2. Transformació de les unitats de les dades

En aquest moment, es tenen les dades dins de la BD. El pas següent és adaptar aquesta informació per mostrar la precipitació en mil·límetres, ja que actualment només es té guardat el pes del que s'ha enregistrat en grams i és la unitat de mesura que usen les estacions meteorològiques per quantificar les precipitacions.

Se sap que:

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ l}/1 \text{ m}^2$$

I també se sap la superfície de recepció de la pluja, que és la superfície de l'embut de recepció. Sabent que té un diàmetre de 13 cm, s'obté l'àrea d'acord amb la fórmula:

$$\text{Àrea} = \pi \cdot r^2$$

$$\text{Àrea (m)} = \pi \cdot 0,065 \text{ m}^2 = 0,013273 \text{ m}^2$$

Finalment, per passar de grams a mil·límetres i, sabent que 1 gram d'aigua equival a 1 mil·lilitre, s'aplicarà a cada valor la fórmula següent:

$$\text{mm} = \frac{l}{\text{m}^2} = \frac{1}{0,013273 \text{ m}^2} \cdot \left(\frac{\text{pes (ml)}}{1000 \text{ ml/l}} \right)$$

10.3.3. HighCharts

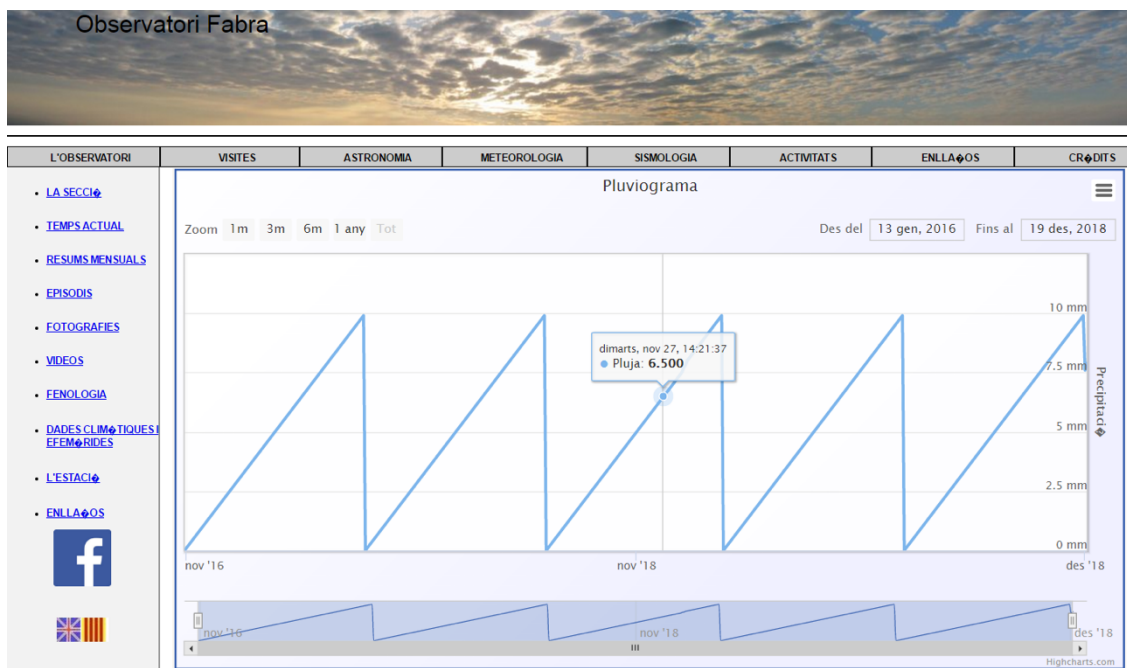
Amb la llibreria *HighCharts* es poden crear gràfiques interactives per a l'usuari utilitzant *JavaScript*. Per realitzar la configuració de la gràfica, es posen les opcions desitjades dins d'un objecte de tipus *JSON*. La gràfica que s'ha creat relaciona la precipitació caiguda (eix d'ordenades) en funció del temps (eix d'abscisses). Per mostrar el temps de forma correcta, s'ha de saber que la informació, en relació amb el temps dins de la base de dades, està en

format UNIX mentre que en *JavaScript* està en mil·lisegons. Per fer passar d'un format a l'altre cal multiplicar per mil.

```
1 $i = 0;
2 foreach ($data as $data1) {
3     $weight = $data1["data"];
4     $datetime = ((strtotime($data1["time"])+$i) * 1000) + (3600*1000);
5     ++$i;
6     $dataFinal[] = "[$datetime, $weight]";
7 }
```

El vector `dataFinal` guardarà tots els parells <temps,pes> de la base de dades.

Finalment, un cop s'ha configurat tot el necessari, s'obté la gràfica següent:



És possible descarregar la gràfica en diversos formats: JPEG, PDF, PNG, i SVG. A la part superior esquerra, es pot escollir entre diferents tipus de granularitats; a la part superior dreta, es pot especificar el rang exacte de dies i, per últim, a la part inferior, es pot indicar el rang que es vol veure utilitzant el ratolí.

11. Fase de proves

S'ha aconseguit arribar a integrar la lectura, arxivament i visualització de les dades d'una de les bàscules de forma segura i, recentment, s'ha estat verificant que el sistema es comportés de manera esperada, un cop que es tingués la segona bàscula. Per evitar propagar errors de disseny de programació, quan s'adquiria un nou component o es programava una classe, se li realitzava una sèrie de proves amb un programa específic no gaire complex que l'aïllava de la resta de components per comprovar que les entrades i sortides eren les esperades.

Una vegada que el prototip va ser construït, es va comprovar que la programació del comportament del microcontrolador fos la correcta, tot i que la majoria de proves s'han realitzat amb una sola bàscula, ja que no ha estat possible obtenir la segona abans. D'aquesta manera, es van fer una sèrie de tests del sistema, entre els quals es troben:

- Que tots els mòduls es comunicaven i cooperaven de forma correcta, utilitzant una font d'alimentació externa de 5 V per tenir tots els components funcionant a la vegada, ja que l'*Arduino* no podia suplir tota la demanda energètica requerida.
- Verificar que el sistema de buidat funcionés omplint els recipients gota a gota (per evitar qualsevol tipus d'inèrcia que ajudés a provocar l'efecte "sifó").
- S'han realitzat diverses simulacions amb diferents tipus d'intensitat de pluja per comprovar que el prototip resisteix, que el sistema de drenatge funciona correctament i que no s'elimina menys aigua de la que rep el recipient.
- Omplir un dels recipients i fer una gràfica de l'evolució del pes.
- Per a precipitacions més llargues, comprovar que el sistema de buidat i sincronització entre els recipients és correcte verificant la continuïtat de la lectura de les dades.

12. Conclusions finals

En aquest projecte, s'ha dissenyat i construït un pluviògraf capaç d'oferir una alta precisió per a l'Observatori Fabra on les dades obtingudes poden ser usades tant pel personal científic com per altres usuaris des de qualsevol navegador web.

Un cop acabat el projecte, es pot dir que l'objectiu principal del treball s'ha realitzat amb èxit. S'ha construït el prototip, s'ha programat el seu comportament i s'ha creat una interfície on poder visualitzar aquesta informació generada. Tot i això han existit certes dificultats com ha estat l'adquisició d'una de les dues bàscules fins a dates molt properes al límit del projecte i també complicacions en el sistema de drenatge que finalment s'han aconseguit superar.

Personalment, crec que l'experiència d'aquest projecte ha estat molt positiva per a mi, ja que he après de diverses branques com és la part de gestió de projectes, la programació de microcontroladors, la programació web (tant per part del client amb la llibreria gràfica *HighCharts* com per part del servidor per interactuar amb la base de dades), la construcció d'un prototip de pluviògraf, el control de versions de codi usant GitHub o l'ús d'eines CAD per realitzar el plànol del prototip. He experimentat els errors que poden sorgir durant aquest tipus de desenvolupament i com adaptar-me per solucionar-ne la majoria gestionant de la millor manera possible el temps disponible. He fet un tast del que és el món de la robòtica, una àrea que sempre m'ha resultat interessant i que ha aconseguit que vulgui seguir formant-me professionalment cap a aquesta direcció.

13. Competències tècniques desenvolupades

Quan es va inscriure el projecte es van definir una sèrie de competències tècniques que s'havien de complir un cop finalitzat el projecte.

A continuació es poden veure les competències definides i la justificació del seu compliment.

13.1. CTI1.1

CTI1.1: Demostrar comprensió de l'entorn d'una organització i de les seves necessitats en l'àmbit de les tecnologies de la informació i les comunicacions. [Una mica]

Durant totes les etapes d'anàlisi i disseny, s'ha realitzat una cerca en relació amb el fet de com l'Observatori Fabra mostra la informació que té disponible al web juntament amb altres estacions meteorològiques i si compten amb algun tipus d'estàndard o certes pràctiques habituals.

13.2. CTI1.2

CTI1.2: Seleccionar, dissenyar, desplegar, integrar i gestionar xarxes i infraestructures de comunicacions en una organització. [Una mica]

S'ha estudiat els requeriments de la comunicació que permeti integrar el sistema dins de la xarxa local i avaluat els diferents tipus de mòduls existents avui en dia al mercat arriben a la conclusió que el mòdul WiFi ESP8266 és un bon dispositiu a tenir en compte.

13.3. CTI1.3

CTI1.3: Seleccionar, desplegar, integrar i gestionar sistemes d'informació que satisfacin les necessitats de l'organització amb els criteris de cost i qualitat identificats. [Bastant]

S'ha hagut de preveure a partir del disseny de l'equip de recollida d'aigües pluvials com llegir les dades de les bàscules, seleccionar els protocols de comunicacions més adients, dimensionar el sistema i l'elecció d'un microcontrolador per poder gestionar tota aquesta informació i com enviar-la al servidor web.

13.4. CTI2.1

CTI2.1: Dirigir, planificar i coordinar la gestió de la infraestructura informàtica: hardware, software, xarxes i comunicacions. [En profunditat]

Aquest projecte compta amb un nombre força elevat de components totalment independents que han d'estar perfectament coordinats per al correcte funcionament com és tota la part de gestió d'entrades i sortides del microcontrolador, la programació del seu comportament i com el servidor rep tota aquesta informació, la guarda i finalment la gestiona per poder ser mostrada visualment a l'usuari final.

13.5. CTI2.3

CTI2.3: Demostrar comprensió, aplicar i gestionar la garantia i la seguretat dels sistemes informàtics (CEIC6). [Una mica]

Es garanteix que les dades que arriben al servidor no seran alterades mitjançant protocols segurs de comunicació i que seran emmagatzemades a una base de dades per evitar-ne la pèrdua.

13.6. CTI4

CTI4: Emprar metodologies centrades en l'usuari i l'organització per al desenvolupament, l'avaluació i la gestió d'aplicacions i sistemes basats en tecnologies de la informació que assegurin l'accessibilitat, l'ergonomia i la usabilitat dels sistemes. [En profunditat]

En tot moment, s'ha tingut en compte a l'hora del disseny d'aquest sistema que tots els seus components siguin el màxim fiables possible, de manera que el pluviògraf tingui una llarga vida útil. També està pensat perquè pugui ser replicat de forma senzilla i es puguin desplegar altres unitats en diverses ubicacions físiques per a l'estudi de les precipitacions amb una mínima configuració de paràmetres per part del personal tècnic de l'organització. Quant a l'usuari final, s'ofereix una interfície per accedir a les dades i visualitzar-les interactivament.

14. Bibliografia

- [1] Aparicio F. (2005). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, Limusa, México.
- [2] 20minutos.es - Últimas Noticias. (2016). *El Ayuntamiento de Barcelona aplaza la inauguración de los 'Encants' tras la inundación* - 20minutos.es. [online] Available at: <http://www.20minutos.es/noticia/1839798/0/ayuntamiento-barcelona/aplaza-inauguracion/inundacion-mercado/> [Accessed 1 Oct. 2016].
- [3] COMORERA, R. (2013). *El mal disseny va causar la inundació dels Encants*. [online] El Periódico. Available at: <http://www.elperiodico.cat/ca/noticias/barcelona/mal-disseny-causar-inundacio-dels-encants-2429008> [Accessed 1 Oct. 2016].
- [4] Tutiempo Network, S. (2016). *Pluviómetros y pluviógrafos* - David López-Rey. [online] www.tutiempo.net. Available at: <http://www.tutiempo.net/meteorologia/articulos/pluviometro-y-pluviografo.html> [Accessed 1 Oct. 2016].
- [5] Jaklic A., Sajn L., Derganc D., Peer P. (15 de desembre de 2015) *Automatic digitization of pluviograph strip charts*. Meteorological Applications, 23(1), 57-64.
- [6] H. E. van Piggelen, T. Brandsma, H. Manders (2011) *Automatic Curve Extraction for Digitizing Rainfall Strip Charts*. Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt, Netherlands.
- [7] Proyectos Ágiles. (2008). *Qué es SCRUM*. [online] Available at: <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/> [Accessed 1 Oct. 2016].
- [8] W3schools.com. (2017). *W3Schools Online Web Tutorials*. [online] Available at: <http://www.w3schools.com/> [Accessed 15 Jan. 2017].
- [9] CCM. (2017). *Introducción a Wi-Fi (802.11 o WiFi)*. [online] Available at: <http://es.ccm.net/contents/789-introduccion-a-wi-fi-802-11-o-wifi> [Accessed 12 Jan. 2017].
- [10] Fabacademy.org. (2017). *ESP8266 Introduction*. [online] Available at: <http://fabacademy.org/archives/2015/doc/networking-esp8266.html> [Accessed 15 Jan. 2017].
- [11] Arduino.cc. (2017). *Arduino - ArduinoBoardMega*. [online] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega> [Accessed 8 Jan. 2017].

15. Índex de taules

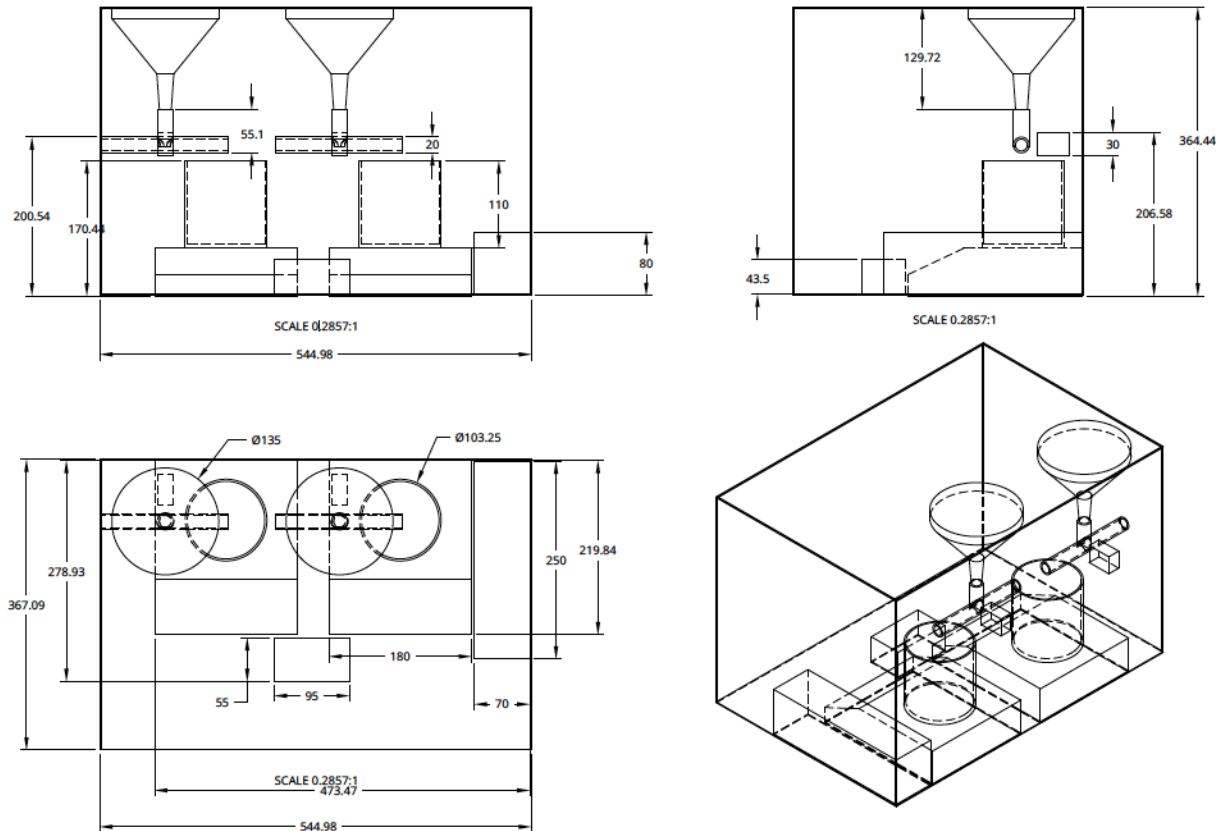
Taula 1. Durada i percentatge del temps estimat per a cada tasca del projecte	22
Taula 2. Dependències de precedència entre les tasques de la planificació inicial.	26
Taula 3. Valoració dels principals obstacles i pla d'acció corresponent	26
Taula 4. Cost estimat dels recursos humans	27
Taula 5. Cost estimat del pressupost hardware	28
Taula 6. Cost estimat del pressupost software	28
Taula 7. Estimació de les despeses indirectes	29
Taula 8. Cost total estimat de la fase inicial	29
Taula 9. Estimació real d'hores	33
Taula 10. Cost real dels recursos humans	33
Taula 11. Cost real recursos hardware i material	34
Taula 12. Cost real de les despeses indirectes	34
Taula 13. Pressupost total real	35
Taula 14. Nomenclatura per als paràmetres de transmissió	45
Taula 15. Resum de l'Arduino Mega	48
Taula 16. Atributs WifiController	54
Taula 17. Atributs ScaleController	56

16. Índex de figures

Figura 1. Pluviògraf de cubeta basculant.....	13
Figura 2. Pluviògraf de bàscula	14
Figura 3. Pluviògraf de flotador.....	14
Figura 4. Diagrama de Gantt de la planificació inicial	25
Figura 5. Distribució real d'hores.....	31
Figura 6. Diagrama de Gantt real.....	32
Figura 7. Diagrama del sistema	39
Figura 8. Equip de recollida d'aigua	40
Figura 9. Efecte sífó.....	40
Figura 10. Diagrama d'interacció amb la placa microcontroladora Arduino.....	41
Figura 11. Diagrama de configuració de l'Arduino	42
Figura 12. Diagrama de classes de l'Arduino	43
Figura 13. Diagrama de classe per part del servidor.....	43
Figura 14. Transmissió asíncrona típica	45
Figura 15. Capa física i capa d'enllaç de dades del protocol IEEE 802.11.....	46
Figura 16. Esquema d'una xarxa sense fils WiFi.....	47
Figura 17. Arduino Mega 2560.....	49
Figura 18. Mòdul WiFi ESP8266 ESP-01	49
Figura 19. Bàscula CB Complet M-620CBC	50
Figura 20. Convertidor RS-232 a TTL	51
Figura 21. Seqüència de polsos per al control del servomotor	52
Figura 22. Servomotor Futaba S3003	52
Figura 23. Exemple entrada bàscula	56

17. Annex

Les unitats que es mostren a continuació estan en mil·límetres (mm).



Annex 1. Plànol prototip del pluviògraf